

Universität Rostock
Medizinische Fakultät
Zentrum für Innere Medizin
Lehrstuhl für Naturheilkunde
Frau Prof. Dr. med. habil. Karin Kraft

Der Einfluss des Torfbreibades auf die Herzrate, die Herzfrequenzvariabilität, die Befindlichkeit und die Stimmung junger gesunder Frauen

Inauguraldissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von
Nadine Nowack

Rostock 21.05.2013

Gutachter:

1. Gutachter:

Frau Prof. Dr. med. K. Kraft,
Lehrstuhl für Naturheilkunde der Universität Rostock

2. Gutachter:

Herr Prof. Dr. P. Kropp,
Institut für Medizinische Psychologie und Medizinische Soziologie der Universität Rostock

3. Gutachter:

Herr Prof. Dr. rer. med. P. van Leeuwen
Institut für Mikrotherapie, Universität Witten/Herdecke

Datum der Einreichung: 21.05.2013

Datum der Verteidigung: 18.12.2013

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen	2
2.1	Grundlagen der Torfbreithherapie	2
2.1.1	Geschichte der Peloidtherapie	2
2.1.2	Wirkungen des Torfbreibades auf den menschlichen Körper	3
2.1.3	Indikationen und Kontraindikationen für die Anwendungen der Torfbreibadtherapie	5
2.2	Grundlagen der Herzratenvariabilität	7
2.2.1	Begriffsdefinition der Herzratenvariabilität	7
2.2.2	Geschichtlicher Hintergrund der Herzratenvariabilität	7
2.2.3	Analyse der Herzratenvariabilität	8
2.2.4	Einfluss des vegetativen Nervensystems auf die Herzrate und die Herzratenvariabilität	13
2.2.5	Einfluss von Alter und Geschlecht auf die Herzratenvariabilität	17
2.2.6	Einfluss der Atmung auf Herzrate und Herzratenvariabilität	18
2.2.7	Zirkadiane Rhythmik der Herzratenvariabilität	18
2.2.8	Physiologische Grundlagen des Einflusses von Wärmebelastung und Immersion auf das Herz-Kreislauf-System	19
2.2.9	Einfluss der Befindlichkeit bzw. der Stimmung auf die Herzratenvariabilität	21
2.2.10	Beeinflussung der Herzratenvariabilität durch weitere Parameter	22
2.3	Fragestellungen und Ziele der Arbeit	23
3	Material und Methoden	24
3.1	Probandinnen	24
3.2	Durchführung der Studie	26
3.2.1	Aufklärung und Einwilligungserklärung	26
3.2.2	Ethikvotum	26
3.2.3	Ablauf der Studie	26
3.3	Datenverarbeitung	29
3.3.1	Beschreibung der HRV-Analyse Software	29
3.4	Statistik	32
3.5	Ergebnisdarstellung	33
3.6	Psychologische Fragebögen	34
3.6.1	Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen (MDBF)	34
3.6.2	Kurzform des Mainzer Stimmungsfragebogens (MStF-K)	38

4	Ergebnisse	41
4.1	Charakterisierung der Stichprobe und unerwünschte Ergebnisse	41
4.2	Raum- und Torfbreitemperaturen	41
4.3	Herzratenvariabilitätsparameter der Zeitbereichsanalyse	42
4.3.1	Herzrate und deren Altersabhängigkeit	42
4.3.2	Variabilität der RR-Intervalle (RMSSD)	46
4.4	Herzratenvariabilitätsparameter der Frequenzbereich- analyse	47
4.4.1	Hoch- und niedrigfrequente Anteile des Gesamtfrequenzspektrums der Herzrate	47
4.4.2	Verhältnis zwischen niedrigen und hohen Frequenzbereichen (LF/HF)	49
4.5	Psychologische Fragebögen	50
4.5.1	Ergebnisse der Auswertung des MDBF-A	50
4.5.2	Ergebnisse der Auswertung des Mainzer-Stimmungsfragebogens . .	52
5	Diskussion	55
5.1	Materialien und Methoden	55
5.1.1	Fallzahl	55
5.1.2	Ein- und Ausschlusskriterien	55
5.1.3	Untersuchungsablauf	55
5.1.4	Datenregistrierung und Datenverarbeitung	57
5.1.5	Praktikabilität der psychologischen Fragebögen	58
5.2	HR- und der HRV-Änderungen in der Vorruhephase	59
5.3	Beeinflussung des kardiovaskulären Systems durch das Torfbreibad	61
5.3.1	Einfluss der thermophysikalischen Wirkung des Torfbreibades auf die Herzrate	61
5.3.2	Einfluss der thermophysikalischen Wirkung des Torfbreibades auf die Herzratenvariabilität	64
5.3.3	Einfluss des Immersionseffektes während des Torfbreibades	66
5.3.4	Diskussion der biochemischen Wirkung während des Torfbreibades .	66
5.3.5	Einfluss der Umgebungstemperatur und der Luftfeuchtigkeit während des Torfbreibades	66
5.3.6	Einfluss von visuellen und akustischen Reizen sowie endogenen Fak- toren während des Torfbreibades	67
5.4	Beeinflussung des kardiovaskulären Systems nach dem Torfbreibad	68
5.5	Beurteilung der Befindlichkeits- und Stimmungsänderungen	71
5.5.1	Befindlichkeitsbeurteilung mit dem MDBF-A	71
5.5.2	Stimmungsbeurteilung mit dem MStF-K	73

5.6	Zusammenhang zwischen HRV-Änderung und den Ergebnissen der psychologischen Befragungen	74
5.6.1	Zusammenhang zwischen HRV-Änderung und den Ergebnissen des MDBF-A	74
5.6.2	Zusammenhang zwischen HRV-Änderung und den Ergebnissen des MStF-K	74
6	Methodische Schwächen und Empfehlungen	75
7	Zusammenfassung	77
8	Thesen	79
A	Literaturverzeichnis	i
B	Abbildungsverzeichnis	xiv
C	Fragebogen zur Erfassung der Patientendaten	xv
D	Tabellenverzeichnis	xvi
E	Danksagung	xviii

Abkürzungsverzeichnis

ACh	Acetylcholin
ACTH	Adrenocorticotropes Hormon
ADH	Antidiuretisches Hormon
ÄGS-Skala	Skala für ängstlich-gedrückte Stimmung des MStF-K
ANS	autonomes Nervensystem
AV-Knoten	Atrioventrikularknoten
BMI	Body-Mass-Index
bpm	beats per minute (Schläge pro Minute)
ECF	Extrazelluläre Flüssigkeit
EKG	Elektrokardiogramm
GHS-Skala	Skala für gehobene Stimmung des MStF-K
GS-Skala	Skala für Gute Stimmung-Schlechte Stimmung des MDBF-A
HF	high frequency (hochfrequenter Bereich im Frequenzspektrum der Herzratenvariabilität)
HR	Herzrate (Herzfrequenz)
HRV	Herzratenvariabilität (Herzfrequenzvariabilität)
Hz	Hertz (SI-Einheit für Frequenz)
HZV	Herzzeitvolumen
LF	low frequency (niedrigfrequenter Bereich im Frequenzspektrum der Herzratenvariabilität)
MDBF-A	Kurzform A des Mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogens
MOS-Skala	Skala für morose Stimmung des MStF-K
MStF-K	Kurzform des Mainzer Stimmungsfragebogens
N.	Nervus
NA	Noradrenalin
Na-Ret.	Natriumretention
pCO_2	partieller Kohlenstoffdioxiddruck
pO_2	partieller Sauerstoffdruck
r	Reliabilitätskoeffizient
r_{tt}	Reliabilitätskoeffizienten für die Retest-Reliabilität
RMSSD	Quadratwurzel des quadratischen Mittelwertes der Summe aller Differenzen zwischen benachbarten RR-Intervallen ($RR \neq$ Blutdruck) des EKGs
RR	Blutdruck
RSA	respiratorische Sinusarrhythmie
RU-Skala	Skala für Ruhe-Unruhe des MDBF-A
SD1	Standardabweichung der orthogonalen Abstände der RR-Intervalle ($RR \neq$ Blutdruck) des EKGs zum Querdurchmesser der Ellipse des Poincaré-Plots

SD2	Standardabweichung der orthogonalen Abstände der RR-Intervalle (RR \neq Blutdruck) des EKGs zum Längsdurchmesser der Ellipse des Poincaré-Plots
σ	Standardabweichung
ms	Millisekunden
SV	Schlagvolumen
TIBB-Studie	Total Ischemic Burden Bisoprolol Study
TPR	totaler peripherer Widerstand
VLF	very low frequency (sehr niedrigfrequenter Bereich im Frequenzspektrum der Herzratenvariabilität)
WM-Skala	Skala für Wachheit-Müdigkeit des MDBF-A
\bar{x}	Mittelwert

1 Einleitung

In der über 200 Jahre alten mitteleuropäischen Kurortmedizin ist das Torfbreibad als anerkanntes Heilmittel etabliert [44]. Es wird vor allem zur Therapie von Erkrankungen des Bewegungs- und Stützapparates verwendet, findet aber auch bei Erkrankungen aus den Bereichen der Inneren Medizin, Urologie, Dermatologie, Gynäkologie und Rehabilitationsmedizin Anwendung. Dieses breite Anwendungsspektrum wird vorrangig durch die thermophysikalischen Wirkungen des Torfes ermöglicht [98].

Die physiologischen Grundlagen der Wirkungsweise der schonenden Hyperthermie durch das Torfbreibad sind weitgehend erforscht. Daher sind exakte Aussagen über den zeitlichen Verlauf der Herzrate, des Blutdruckes, der Körperkerntemperatur sowie über die Stärke der Schweißsekretion möglich [79, 109, 132].

Einen entscheidenden Einfluss auf die Veränderungen dieser Parameter während des Torfbreibades hat das autonome Nervensystem (ANS). Auf dessen Aktivität während des Torfbreibades konnte bisher aus den Daten der Thermoregulation und der Reaktion auf den steigenden Immersionsdruck nur indirekt geschlossen werden. Gezielte Messungen zur Erfassung der Sympathikus- und Parasympathikusaktivität, der beiden Anteile des ANS, während eines Torfbreibades wurden bisher nicht durchgeführt.

Mit der Herzfrequenzvariabilität (Synonym: Herzratenvariabilität; HRV) steht ein Parameter zur Verfügung, mit dem man Veränderungen der Aktivitäten des Sympathikus und Parasympathikus untersuchen kann. Außerdem erlaubt er Einblicke in die Adaptationsfähigkeit des Körpers auf exogene und endogene Einflussfaktoren [69].

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, mit Hilfe der HRV-Analyse die Beeinflussung des ANS durch das Torfbreibad zu veranschaulichen und so einen Beitrag zur Grundlagenforschung in der Balneologie („Lehre von den natürlichen Heilwässern, Heilgasen und Peloiden und ihrer Verwendung zur Krankenbehandlung“ [15]) zu leisten. Da die HRV-Messung noch nie unter den feuchtwarmen (40 °C) Bedingungen des Torfbreibades durchgeführt wurde, ist die Erprobung von Materialien und Methoden der Datenerfassung ein weiterer wichtiger Aspekt der Dissertation.

Das Torfbreibad ist ein bedeutender Bestandteil der Rehabilitationsmedizin, in der durch ein Gesamtkonzept aus physikalischen und psychologischen Therapiemodulen der Therapieerfolg positiv beeinflusst wird. Deshalb soll außerdem untersucht werden, ob die Befindlichkeit und die Stimmung durch schonende Überwärmung (Hyperthermie) während eines Torfbreibades beeinflusst werden.

2 Grundlagen

2.1 Grundlagen der Torfbreithherapie

Im Volksmund ist oft fälschlicherweise vom „Moorbad“ die Rede. Mit der Bezeichnung „*Moor*“ ist jedoch eine Landschaft gemeint, in der durch ständigen Wasserüberschuss durch Niederschläge und mineralhaltige Bodenwasser Sauerstoffmangel in den Böden besteht, wodurch es zum unvollständigen Abbau pflanzlicher und tierischer Reste kommt. Im Zuge dieses Prozesses entsteht *Torf*, der den Peloiden zugeordnet wird [98].

Unter *Peloiden* versteht man *Schlämme* (ein Gemisch aus fein verteiltem Feststoff und einer vergleichsweise geringen Menge Flüssigkeit), die durch die Aufbereitung von wasserreichen organischen oder anorganischen Naturstoffen (Lockergesteinen = Eupeloide) oder durch die Zerkleinerung von Festgesteinen (Parapeloide) und anschließender Wasserzugabe hergestellt werden [98]. Wird der Torf als Therapeutikum in der Balneotherapie oder Kurortmedizin verwendet, wird er als *Heiltorf* bezeichnet. Dieser wird in einem Aufbereitungsvorgang mit Wasser versetzt, erwärmt und dann als *Torfbrei*, vorwiegend in Form von warmen Bädern (*Torfbreibäder*) und Packungen, angewendet.

2.1.1 Geschichte der Peloidtherapie

Bereits vor 4000 Jahren wurden in Ägypten den Torf- und Schlamm packungen medizinische Bedeutung beigemessen. Auch im antiken Griechenland wurde im Torfbrei gebadet [3]. Im griechischen Ort Tenagi Philippon wurde in der Antike der erste historisch belegte europäische Heiltorf-Kurort errichtet [23]. Auch die Römer verwandten Schlamm und Torf zur Heilung [44]. Im 14. Jahrhundert wurde in Norditalien heißer Schlamm zu Heilzwecken eingesetzt. Paracelsus (1493-1541) empfahl die Torfanwendung zur Heilung unterschiedlicher Krankheiten.

Der französische Kaiser Napoleon Bonaparte (1769-1821) lernte die Torfbreibäder während seines Ägyptenfeldzuges kennen und schätzen. Daraufhin richtete sein Bruder Jérôme Bonaparte (1784-1860) 1809 das zweite Heilbad auf deutschem Boden mit Torfanwendungen im niedersächsischen Bad Nenndorf für seine Truppen ein [5]. Nur das Heilbad in Bad Eilsen, welches 1802 gegründet wurde, ist noch älter. Im Jahre 1822 wurde das erste Torfbadehaus in Marienbad errichtet. Weitere vergleichbare Einrichtungen folgten kurz darauf in Franzensbad, Elster, Pyrmont und Driburg. 1870 bestanden 20 Badeanstalten in Deutschland, die Torfbrei benutzten. Im Jahre 2003 waren 80 Heilbäder und Kurorte in Deutschland registriert, in denen Torfbrei für therapeutische Zwecke verwendet wurde [44, 98]. In Bad Doberan werden seit 1825 Kuren auf der Basis von Meerwasser, Sonne, Wind und Badetorf angeboten. Die Dr. Ebel Fachklinik „Moorbad“ in Bad Doberan, in der die vorliegende Studie durchgeführt wurde, wurde 1996 errichtet [8].

2.1.2 Wirkungen des Torfbreibades auf den menschlichen Körper

Die Wirkungen des Torfbreibades auf den menschlichen Körper werden vorrangig den thermophysikalischen Eigenschaften des Bademediums zugeschrieben [41, 97, 118].

Torfbreibäder werden in der Regel über 20 Minuten mit einer Temperatur von 39 °C - 45 °C durchgeführt.

Die Wärmeübertragung auf den kühleren menschlichen Körper folgt dabei physikalischen Gesetzen. Anfänglich wird viel Wärme vom körpernahen Torfbrei in die Haut geleitet. Dieser Vorgang wird als Konduktion oder Wärmeleitung bezeichnet und beschreibt den Wärmefluss in einem Feststoff oder einer ruhenden Flüssigkeit. Das Ausmaß der Wärmeleitung sinkt während des Bades ab, da sich die Torfbreitemperatur in Hautnähe durch Energieabgabe an den Badenden verringert. Einer weiteren Körpererwärmung bei ruhiger Körperhaltung muss eine Energieübertragung durch Konduktion von körperfernen Molekülen auf körpernahe vorausgehen. Die Energieübertragung durch Konvektion (Energieübertragung durch Lageänderung von Teilchen) ist zudem aufgrund der hohen Viskosität des Torfbreies eingeschränkt. Die Wärmeübertragung auf den Badenden wird deshalb mit steigender Badezeit geringer [41].

Die Wärmeleitfähigkeit des Torfbreies (0,46 W/(m * K)) bei einem Wassergehalt von 90 %) ist im Vergleich zum Wasser (0,6 W/(m * K)) geringer [119]. Außerdem speichert Torfbrei aufgrund der festen Bestandteile mehr thermische Energie (Wärmekapazität) als Wasser [41]. Bei gleicher Ausgangstemperatur kühlt Torfbrei daher 5-15 mal langsamer ab als Wasser [120].

Während eines 20-minütigen Torfbreibades steigt die Körperkerntemperatur um bis zu 2 °C an [23, 41]. Dies wird als schonende Hyperthermie bezeichnet. Sie steigert die Stoffwechselleistung des Körpers, aktiviert immunologische Vorgänge und lindert Schmerzen. Außerdem werden durch den hohen Auftrieb Muskulatur und Sehnen entspannt [118]. Pratzel und Limbach führen zudem positive psychische Effekte an, da es während der Therapie nach ihren Erkenntnissen zu einer Dämpfung der nervalen Erregbarkeit kommen soll [117].

Der Vorgang der Temperaturregulation mit begleitender Vasodilatation, Steigerung des Schlagvolumens, Herzratenanstieg, Reduktion des diastolischen und systolischen Blutdruckes und Blutvolumenumverteilung aus dem Körperkern in die Peripherie (Kapitel 2.2.8) und erhöhter Schweißproduktion, verläuft im Torfbreibad prinzipiell wie während eines Warmwasserbades. Allerdings unterscheiden sich die Zeitverläufe und die Beanspruchungsintensitäten (Kapitel 5.3.1) [41, 132].

Neben den thermophysikalischen Wirkungen des Torfbreies nehmen einige Autoren auch *biochemische Wirkungen* an. Huminsäuren sollen nach Goecke und Naucke über die Haut in das Körperinnere eindringen und unter anderem eine Vasodilatation bewirken [56, 107]. Außerdem wurde beschrieben, dass Huminsäuren in vitro antientzündlich infolge der Hemmung der Prostaglandinsynthese wirken [22, 56].

Dass während des Torfbreibades die Aktivität proinflammatorischer Zytokine gesenkt wird und Chondrozyten aktiviert werden, die gewebereparative Mechanismen in Gang setzten, konnten Bellonetti et al. bei Patienten mit Arthrosen nachweisen [24].

Antientzündlich soll ebenfalls der Anstieg der Hyaluronsäurekonzentration im Blut wirken.

Schon im Jahre 2000 hält Pratzel allerdings fest, dass die Durchlässigkeit der intakten Hornschicht zu gering ist, um einen Durchtritt der Huminsäuren zu gewährleisten. Außerdem ist seiner Meinung nach die Konzentration der wirksamen Stoffe des Torfes zu gering. Er räumt lediglich eine biochemische Wirkung der Huminsäuren auf den menschlichen Körper ein, wenn sie durch Schleimhäute oder nicht intakte Hornschichten treten können [116].

Eine endgültige Klärung, ob den postulierten biochemischen Wirkungen eine klinische relevante Bedeutung zukommt, ist bisher nicht erfolgt.

2.1.3 Indikationen und Kontraindikationen für die Anwendungen der Torfbreibadtherapie

Aus den thermophysikalischen und chemischen Wirkungen des warmen Torfbreies ergeben sich folgende **Indikationen** für die Anwendung des Torfbreibades, die allerdings bisher nicht in den Leitlinien der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) abgebildet sind. Sie beruhen, ebenso wie die Kontraindikationen, auf einer jahrzehntelangen Empirie.

- Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises [116]
- Neuralgien [44]
- Arthrosen [44]
- Prostatitis [116]
- chronische Magen - Darmerkrankungen [118]
- Erkrankungen der Leber und Gallenwege [61]
- chronische Entzündungen der Genitalorgane [44]
- Ovarialinsuffizienz [44]
- Sterilität [44]
- Schmerzen im kleinen Becken [116]
- klimakterische Beschwerden [44]
- Pelvopathica spastica [116]
- Myogelosen [116]
- postakute Beschwerden nach Traumata und Operationen am Bewegungsapparat [116]

Es bestehen folgende **Kontraindikationen** für die Anwendung der Torfbreibadtherapie:

- Pathologisches Ruhe-EKG [116]
- Wärmeüberempfindlichkeit [116]
- Herzschrittmacherträger [116]

- Fieber [116]
- Hypertonus ab Stadium III [118]
- Kardiale Beschwerden schon bei geringer Belastung [118]
- Varikosis (außer Besenreiservarizen und retikulärer Varikosis) [116]
- Ödeme kardialer oder renaler Genese [118]
- akuter Zustand nach Trauma [116]
- Tumorerkrankungen [4]
- Entzündungszustände mit Ausnahme der genannten Indikationen [116]
- Hauterkrankungen und großflächige Hautverletzungen [116]
- respiratorische Insuffizienz [116]

2.2 Grundlagen der Herzratenvariabilität

2.2.1 Begriffsdefinition der Herzratenvariabilität

Die Abstände zwischen den Herzschlägen variieren schon unter Ruhebedingungen: Bei einer Ruhefrequenz von 60 Schlägen pro Minute (bpm) beträgt der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Systolen (RR-Abstand im EKG) nicht immer 1 s. Körperliche und/oder psychische Belastungen haben eine Verkürzung des RR-Abstandes zur Folge. In Ruhe nimmt dieser hingegen zu. Die daraus folgenden kurzfristigen Schwankungen der Herzrate (HR) bezeichnet man als Herzfrequenz- oder Herzratenvariabilität (HRV) [69].

2.2.2 Geschichtlicher Hintergrund der Herzratenvariabilität

Bereits im 3. Jahrhundert nach Christus fand der chinesische Arzt Wang Shuhe empirisch einen Zusammenhang zwischen dem Gesundheitszustand und der Variationsbreite der HR: „Wenn der Herzschlag so regelmäßig wie das Klopfen des Spechts oder das Tröpfeln des Regens auf dem Dach wird, wird der Patient innerhalb von vier Tagen sterben“ [70]. Mitte der 60er Jahre des letzten Jahrhunderts wurde die HRV vor allem in der Geburtshilfe im Rahmen der Kardiotokografie analysiert, um mögliche hypoxische Zustände des Feten rechtzeitig zu erkennen. Seit Ende der 80-iger Jahre hat mit Einführung der Rechenteknik auf der Basis von Mikroprozessoren die HRV-Messung in der Diagnostik und Prognoseeinschätzung unterschiedlicher Erkrankungen zunehmend an Bedeutung gewonnen. Außerdem dient die HRV-Analyse in der Sportmedizin der Beurteilung von Belastungszuständen während unterschiedlicher Interventionen [69]. Von 1972 bis 2012 ist die Anzahl der in der medizinischen Datenbank „PubMed“ zum Suchbegriff „heart rate variability“ gelisteten Publikationen von 29 bis auf 15197 angestiegen (Abbildung 2.1) [7].

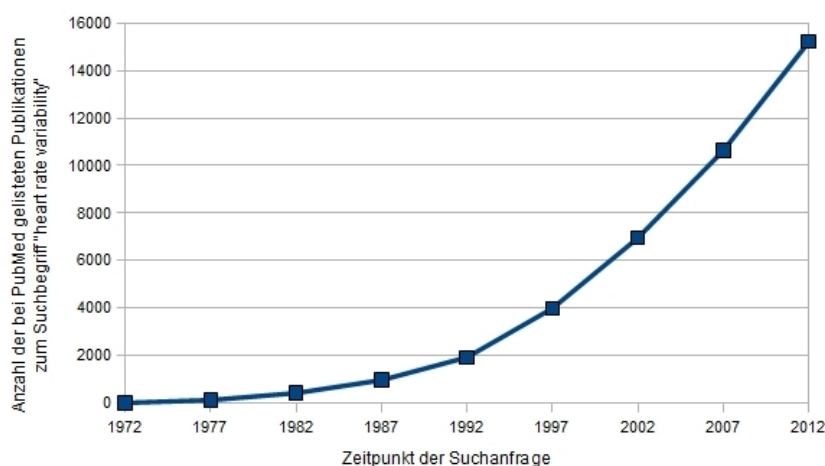


Abbildung 2.1: Entwicklung der Suchergebnisanzahl in PubMed zum Stichwort "heart rate variability"

2.2.3 Analyse der Herzratenvariabilität

Das Ziel der Methoden, die zur Analyse der HRV verwendet werden, ist die standardisierte und reproduzierbare Veranschaulichung der HRV. Man unterscheidet zwischen der Analyse des Zeitbereiches, des Frequenzbereiches und der Analyse der HRV mit nichtlinearen Methoden. Auf letztere wird in dieser Arbeit nicht eingegangen, da sie nicht für die Auswertung der erhobenen Daten herangezogen wurden.

Parameter der Zeitbereichsanalyse

Die Parameter der Zeitbereichsanalyse werden aus den numerischen Werten der Abstände aufeinanderfolgender RR-Intervalle berechnet. Folgende Möglichkeiten der Datenverarbeitung werden unterschieden:

- Statistische Analyse: Die Variablen werden direkt aus den RR-Intervallabständen ermittelt oder aus Differenzen sukzessiver RR-Intervalle abgeleitet (Tabelle 2-1) [34].
- Geometrische Methode: Die Parameter ergeben sich durch Konvertierung der RR-Intervalle in geometrische Figuren (z. B. Poincaré Plot) und deren mathematische Bearbeitung (Tabelle 2-1) [34].

Die Langzeitparameter (SDNN, SDANN und SDNN-i, Tabelle 2-1) werden gewöhnlich auf der Basis einer 24h-EKG-Registrierung errechnet und ermöglichen eine allgemeine Aussage über die Variabilität der RR-Intervalle innerhalb eines längeren Zeitraumes (> 6 min). Hervorzuheben ist der sehr hohe prognostische Wert des Parameters SDNN-i. So ergab sich bei keinem der Patienten mit hohen SDNN-i Werten während der zweijährigen TIBB Studie (Total Ischaemic Burden Bisoprolol), an der 422 Personen teilnahmen (45 Frauen, 376 Männer), ein schweres unerwünschtes Ereignis (Krankenhauseinweisung wegen instabiler Angina pectoris, Myokardinfarkt, Tod) [28].

Indizes kurzfristiger Fluktuation sind pNN50 und RMSSD (Tabelle 2-1). Sie werden durch die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) moduliert und sind daher unter anderem ein Spiegelbild der hochfrequenten Variabilität der HR [34].

Die Zeitbereichsanalyse hat den Nachteil, dass Verlauf und Verteilung der RR-Intervalländerung nicht beurteilt werden können. Außerdem können die beiden Anteile des autonomen Nervensystems nur eingeschränkt getrennt voneinander betrachtet werden. Im Vergleich zur Frequenzanalyse ist die Zeitbereichsanalyse jedoch relativ robust gegenüber Arrhythmien und Artefakten. Zudem ist sie eine einfache und gut untersuchte Methode. Hohe Werte der Zeitbereichsparameter gehen mit einer hohen HRV einher [34].

Tabelle 2-1: Parameter der Zeitbereichsanalyse nach [34]

HRV-Index	Einheit	Beschreibung
Parameter statistischer Methoden		
RR	ms	Abstand zweier Herzschläge (R-Zacken im EKG)
SDNN	ms	Standardabweichung aller RR-Intervalle
SDANN	ms	Standardabweichung der mittleren RR-Intervalldauer fünfminütiger Segmente im Rahmen der gesamten Aufzeichnung
SDNN-i	ms	Mittelwert der Standardabweichungen aller RR-Intervalle für alle fünfminütigen Abschnitte bei 24-stündiger Aufzeichnung
RMSSD*	ms	Quadratwurzel des quadratischen Mittelwertes der Summe aller Differenzen zwischen benachbarten RR-Intervallen
pNN50*	%	Prozentsatz der Intervalle mit mindestens 50 ms Abweichung vom vorausgehenden Intervall
Parameter geometrischer Methoden		
DL	ms	Länge des Längsdurchmessers der 95 %-Vertrauensellipse, Parameter im Poincaré Plot
SD1*	ms	Standardabweichung der orthogonalen Abstände der RR-Intervalle zum Querdurchmesser der Ellipse, Parameter im Poincaré Plot
SD2*	ms	Standardabweichung der orthogonalen Abstände der RR-Intervalle zum Längsdurchmesser der Ellipse, Parameter im Poincaré Plot

Die mit * gekennzeichneten Parameter sind für die Analyse von Kurzzeitmessungen (2-5 Minuten) geeignet [34]; ms = Millisekunden.

Parameter der Frequenzanalyse

Im Rahmen der Frequenzanalyse der HR beurteilt man die Anteile der Frequenzbereiche, aus denen sich die Variabilität der HR zusammensetzt. Die genaue Vorgehensweise der Frequenzbereichsermittlung aus der EKG-Aufzeichnung wird in Abbildung 2.2 veranschaulicht. Dabei werden die zeitlichen Abstände in Sekunden (s) zwischen zwei aufeinander folgenden R-Zacken der EKG-Aufzeichnung (1. Graphik) in Abhängigkeit von der Messzeit (in s) graphisch festgehalten (2. Graphik und 3. Graphik als Ausschnitt aus 2. Graphik). Die sich daraus ergebende Funktion wird durch Frequenzbereichsanalyse mit Hilfe der Fast-Fourier-Transformation als Reihen von Sinus- und Cosinusfunktionen dargestellt. Die ermittelten Schwingungen werden anschließend bezüglich ihrer Amplitude und Frequenz untersucht und geordnet. Das Ergebnis dessen ist ein Frequenzspektrum (4. Graphik), bestehend aus sehr niedrigen (VLF), niedrigen (LF) und hohen Frequenzen (HF) (Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2: Parameter der Frequenzbereichsanalyse nach [34] und [66]

HRV-Index	Einheit	Beschreibung	Frequenzbereich
VLF (very low frequency)	ms ² , %	Leistung im sehr niedrigen Frequenzbereich bzw. prozentualer Anteil des sehr niedrigen Frequenzbereiches am Gesamtspektrum	0,003 - 0,04 Hz
LF* (low frequency)	ms ² , %	Leistung im niedrigen Frequenzbereich bzw. prozentualer Anteil des niedrigen Frequenzbereiches am Gesamtspektrum	0,04 - 0,15 Hz
HF*(high frequency)	ms ² , %	Leistung im hohen Frequenzbereich bzw. prozentualer Anteil des hohen Frequenzbereiches am Gesamtspektrum	0,15 - 0,4 Hz
LF/HF*		Quotient aus LF [ms ²] und HF [ms ²]	

Die mit * gekennzeichneten Parameter sind für die Analyse von Kurzzeitmessungen (2 - 5 Minuten) geeignet [34].

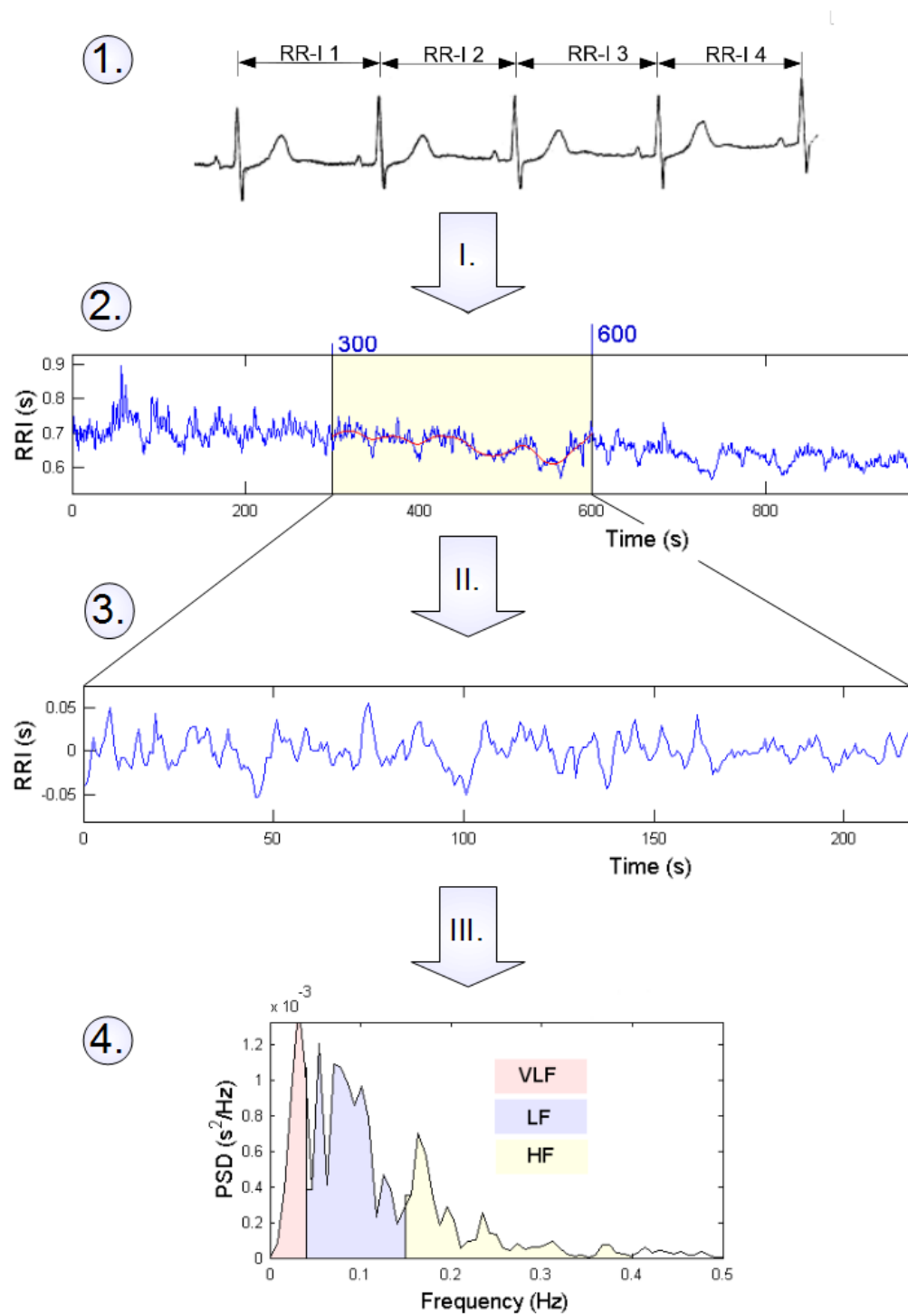


Abbildung 2.2: Veranschaulichung der Frequenzbereichsanalyse der Herzrate [110]

Da die einzelnen Frequenzbereiche Ausdruck unterschiedlicher Beeinflussung sind, lässt ihre Analyse Rückschlüsse auf die Ausprägung der jeweiligen Modulatoren zu. Dies sind insbesondere die beiden Anteile Sympathikus und Parasympathikus des ANS. Die Herzfrequenzanalyse ist eine effektive und nicht invasive Methode, um die Aktivität des vegetativen Nervensystems zu beurteilen [115].

VLF-Bereich

Der sehr niedrige Frequenzbereich wird von hormonellen, vasomotorischen und thermoregulatorischen Einflüssen moduliert. Bisher ist die genaue Regulation dieses Frequenzbereiches jedoch nicht gesichert. Es wird empfohlen, ihn aus der Analyse von Kurzzeitmessungen auszuschließen, da bei Messintervallen unter fünf Minuten die VLF nicht sicher bestimmt werden kann [34].

LF-Bereich

Im niedrigfrequenten Bereich des Gesamtspektrums der HRV spiegelt sich vor allem die Blutdruckregulation durch den Baroreflex wider [69]. Da dieser sowohl durch den Sympathikus als auch durch den Parasympathikus vermittelt wird, beeinflussen auch diese beiden Anteile des ANS den LF-Bereich [13, 48, 112, 115]. Untersuchungen belegen, dass sowohl bei körperlicher Aktivität als auch bei mentalem Stress, die beide mit einer erhöhten sympathischen Aktivität vergesellschaftet sind, der Anteil der LF am Gesamtspektrum der HRV ansteigt [100].

HF-Bereich

Der hochfrequente Bereich des Gesamtspektrums der HRV wird maßgeblich vom Parasympathikus moduliert und ist daher in Ruhe und liegender Position ausgeprägter als im Stehen und bei Belastung [13, 112, 115]. Zudem unterliegt die HF dem Einfluss der Atmung im Sinne der respiratorischen Sinusarrhythmie [115].

LF/HF-Verhältnis

Der Quotient aus LF und HF ermöglicht Einblicke in die Balance zwischen Sympathikus und Parasympathikus [112]. Dabei weist ein hoher Quotient auf das Überwiegen der Sympathikusaktivität und ein niedriger Quotient auf ein Überwiegen der Aktivität des Parasympathikus hin.

2.2.4 Einfluss des vegetativen Nervensystems auf die Herzrate und die Herzratenvariabilität

Ausschlaggebend für die HRV sind die modulierten Entladungsfrequenzen der Sinusknotenzellen. Diese dominanten Schrittmacherzellen des gesunden Herzens generieren die zeitliche Abfolge der Herzmuskelkontraktionen. Sie werden bei kurzfristigen Anpassungsvorgängen an interne und externe Stimuli maßgeblich durch sympathische und parasympathische Efferenzen des ANS beeinflusst [48].

In der Abbildung 2.3 wird die Regulation des Herz-Kreislauf-Systems schematisch dargestellt. Das Herz wird parasympathisch über die Rami cardiaci des Nervus vagus und sympathisch über die Nervi cardiaci innerviert. Die vegetativen Äste üben eine Dauererregung aus, wobei die Wirkung des Parasympathikus in Ruhe überwiegt. Daraus resultiert die niedrige HR unter Ruhebedingungen.

Ein optimales Zusammenspiel zwischen Sympathikus und Parasympathikus ermöglicht die erforderliche Adaptation der HR, des Schlagvolumens (SV) und des sich daraus ergebenden Herzzeitvolumens (HZV) an innere und äußere Einflüsse.

Sympathikus und Parasympathikus wirken durch postsynaptisch gegensätzliche Transmitterwirkungen und durch eine wechselseitige präsynaptische Inhibition der Transmitterfreisetzung antagonistisch [134].

Je höher die HRV ausgeprägt ist, umso rascher und flexibler wird die Herzfunktion an interne und externe Einflüsse angepasst. Bei niedriger HRV besteht im Gegensatz dazu eine eingeschränkte Anpassungsfähigkeit des Herzens, der in der Regel schwerwiegende Erkrankungen zugrunde liegen, wie z. B. Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems oder Polyneuropathie bei Diabetes mellitus [151].

Lokale Faktoren wie Zug, Druck, Temperatur, Mediatoren und zirkulierende Hormone, die auf das Herz wirken, spielen bei der akuten Beeinflussung der HR eine untergeordnete Rolle. Sie sind eher bei mittel- und langfristiger Kreislaufanpassungen von Bedeutung [48]. Akselrod et al. beschrieben zusätzliche Einflüsse des Renin-Angiotensin-Systems. Es soll im Sekunden- bis Minutenbereich regulatorisch auf das Herz-Kreislauf-System wirken und so die Herzschlagfolge im sehr niedrigfrequenten Bereich (VLF) modulieren [13].

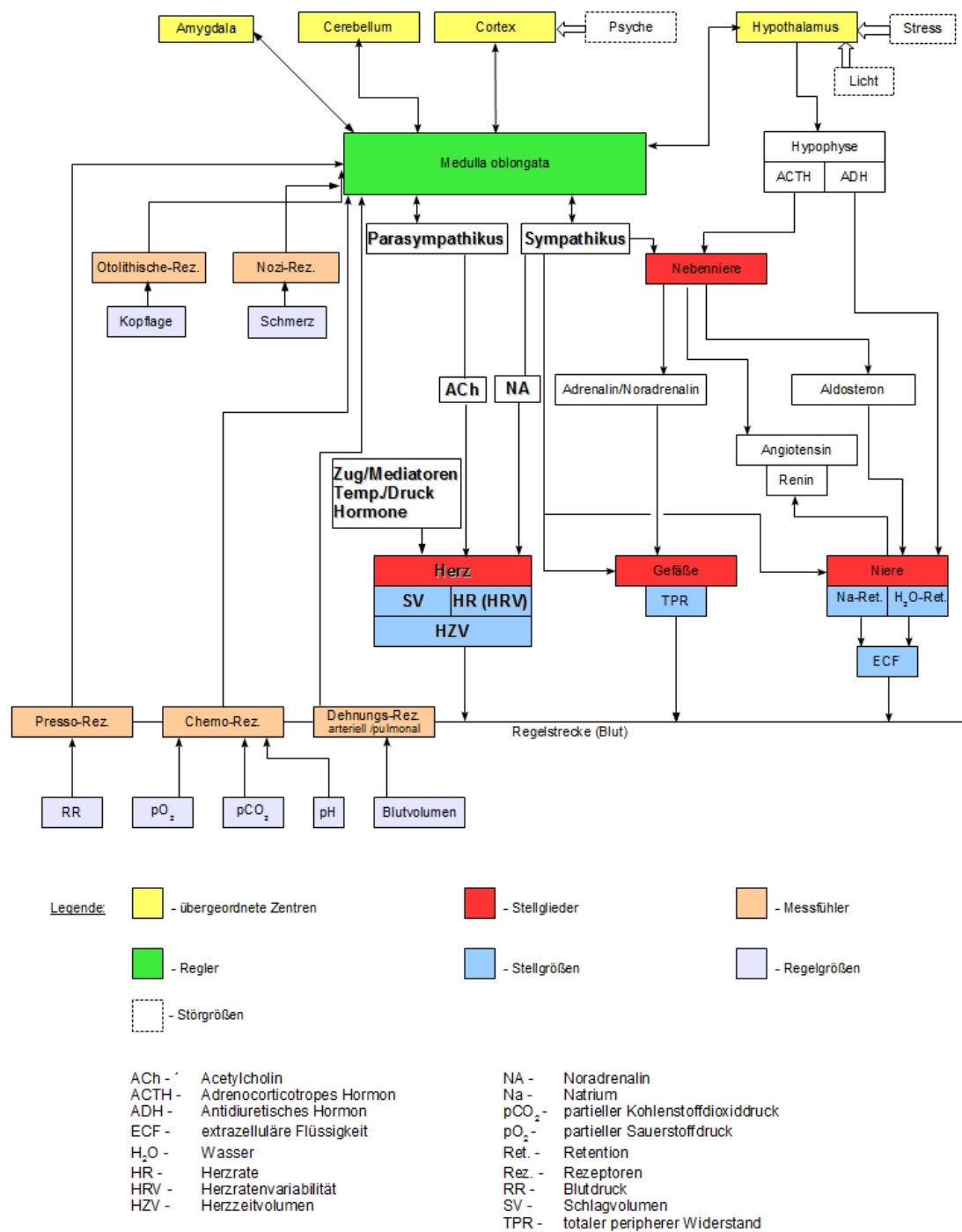


Abbildung 2.3: Regulation des Herz-Kreislauf-Systems, stark modifiziert nach Daly und Esperer [39, 48]

Einfluss des Parasympathikus auf Herzrate und Herzratenvariabilität

Über muskarinerge Acetylcholin (ACh)-Rezeptoren beeinflusst der Parasympathikus die Sinusknotenzellen, die Vorhöfe und den Atrioventrikularknoten (AV-Knoten). ACh erhöht an den Schrittmacherzellen die Kalium-Leitfähigkeit. Somit wird das Membranpotential dem Kalium-Gleichgewichtspotential angenähert und der diastolischen Depolarisation entgegengewirkt. Die HR sinkt (*negativ chronotrope Wirkung*) [75].

Diese Anpassung geschieht aufgrund der raschen Signaltransduktion in den muskarinergen Rezeptoren mit sehr geringer Latenz von 150 ms [48]. Der Sinusknoten fungiert als Tiefpassfilter und beantwortet vagale Reize mit einer Frequenz von 0-0,5 Hz und sympathische Signale mit einer Frequenz von 0-0,15 Hz. Deshalb werden HR-Änderungen oberhalb von 0,15 Hz vagal ausgelöst. Unterhalb von 0,15 Hz werden sowohl sympathische als auch parasympathische Aktivitätsänderungen widergespiegelt [48]. Dies ist die physiologische Grundlage für die Definition der HRV-Parameter des Frequenzbereiches (Kapitel 2.2.3). Im Zuge sistierender Vagusaktivität nimmt die vagale Herzwirkung rasch ab, da ACh durch eine hohe Konzentration von Acetylcholinesterase im Sinusknoten schnell abgebaut wird [94]. Über Modulation der parasympathischen Aktivität wird demzufolge die Herzfrequenz prompt an die jeweiligen Kreislaufforderungen angepasst [48].

ACh bewirkt neben den beschriebenen Vorgängen am Sinusknoten eine verzögerte Erregungsausbreitung von den Vorhöfen auf die Ventrikel (*negativ dromotrope Wirkung*) und eine geringere Kontraktionskraft des Vorhofmyokards (*negativ inotrope Wirkung*) [130].

Pharmakologische Tests zeigten, dass die HRV unter dem Einfluss des Parasympathikus zunimmt. Dies spiegelt sich in höheren Werten im HF-Bereich und einem niedrigeren Quotienten LF/HF wider [13, 34, 115].

Einfluss des Sympathikus auf Herzrate und Herzratenvariabilität

Postganglionäre Nervenfasern des Sympathikus wirken über den Neurotransmitter Noradrenalin auf den Sinusknoten, die Vorhöfe, den AV-Knoten und die Ventrikel des Herzens [75]. Vorwiegend über β_1 -Rezeptoren vermittelt, wird die Kalziumkanalleitfähigkeit während der Depolarisation erhöht. Eine Steigerung der Kontraktionskraft des Herzens (*positiv inotrope Wirkung*) ist die Folge. Außerdem erfolgt über Phosphorylierung von Phospholamban eine erhöhte Kalziumwiederaufnahme in intrazelluläre Speicher, wodurch eine höhere Relaxationsgeschwindigkeit und eine vermehrte Kalziumfreisetzung bei erneuter Erregung vermittelt wird. Diese Mechanismen führen zu einer schnelleren Erregungsleitung (*positiv dromotrope Wirkung*) und zur Erhöhung der Erregbarkeit (*positiv bathmotrope Wirkung*) [75, 130].

Durch raschere diastolische Spontandepolarisation steigt die HR (*positiv chronotrope Wirkung*). Aufgrund der langsamen Noradrenalin-Wiederaufnahme aus dem synaptischen Spalt erfolgt die Sympathikuswirkung auf das Herz mit einer Latenz von ein bis zwei Sekunden. Ihr Maximum erreicht sie erst nach 30-60 Sekunden [94].

Im Nebennierenmark werden präsynaptische sympathische Fasern über ACh auf Nebennierenmarkszellen verschaltet. Daraufhin werden vorwiegend Adrenalin (80-90%) und etwas Noradrenalin direkt in das Blut abgegeben. Adrenalin weist eine hohe β -Rezeptoraffinität auf. Über β_1 -Rezeptoren des Myokards wirkt es mit Noradrenalin synergistisch und über β_2 -Rezeptoren der glatten Gefäßmuskulatur vasodilatatorisch.

Akselrod et al. und Pomeranz et al. wiesen nach, dass der Sympathikus hemmend auf die Herzratenvariabilität wirkt [13, 115]. Bestätigt wurde dieser Sachverhalt durch Untersuchungen, welche HRV-Senkungen unter Stressbedingungen und während körperlicher Anstrengung, die bekanntlich mit einer Dominanz des sympathischen Schenkels des vegetativen Nervensystems vergesellschaftet sind, zeigten [40, 67, 69].

Nach Pomeranz et al. soll man die sympathikusbedingte Modulation im Liegen, während körperlicher Ruhe und bei Abwesenheit weiterer exogener Einflussfaktoren vernachlässigen können [115]. Veränderungen der HRV sind hier dem parasympathischen Anteil des vegetativen Nervensystems zuzuschreiben. Die genannten Untersuchungen ergaben ebenfalls, dass sich die erhöhte Aktivität des Sympathikus im niedrigen Frequenzbereich (LF) der HRV bzw. in einem erniedrigten Quotient LF/HF widerspiegelt (vergl. Tabelle 2-2).

Zentrale Integration der Herzratenregulation

Auf Höhe der Medulla oblongata, die eine Reglerfunktion hat, treffen die Afferenzen, die an der HR-Steuerung beteiligt sind, zusammen (Abbildung 2.3). Dazu gehören Nerven, die Informationen der Baro-, Chemo-, Mechano-, Nozi- und otolithischen Rezeptoren führen [59, 153]. Von dort aus projizieren zahlreiche Fasern diese Informationen auf übergeordnete Areale wie den Hypothalamus, die Amygdala, das Cerebellum und den Cortex. Diese wiederum beeinflussen die Medulla oblongata, von der aus efferente Sympathikus- und Parasympathikusfasern zum Stellglied Herz ziehen und dort die Stellgrößen HR, SV und HRV modulieren. Auf den verschiedenen Ebenen können die Signale durch Störgrößen, wie z. B. psychische Einflüsse, Schmerz und Tageslicht moduliert werden [48].

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass HR und HRV Veränderungen physiologischer und psychologischer Zuständen reflektieren. Durch die Analyse dieser Parameter lässt sich der Einfluss exogener und endogener Faktoren auf das Herz-Kreislauf-System und das ANS nachvollziehen.

2.2.5 Einfluss von Alter und Geschlecht auf die Herzratenvariabilität

Verschiedene Untersuchungen weisen auf unterschiedliche Ausprägungen der HRV-Parameter zwischen Frauen und Männern und zwischen verschiedenen Altersgruppen hin. Allerdings sind die Angaben gegenwärtig inkonsistent.

Umetani et al. weisen eine signifikant geringere HRV bei Frauen nach [149]. Im Gegensatz dazu berichten Gregoire et al., Huikuri et al. und Kuo et al., dass der Anteil hoher Frequenzbereiche der HRV bei herzgesunden Frauen jungen und mittleren Alters höher ist als bei gleichaltrigen Männern, bei denen dafür die prozentualen Anteile in den LF- und VLF-Bereichen am Gesamtspektrum der HR dominieren. Bei ihnen ist der Quotient aus LF und HF signifikant höher als bei Frauen. Daraus schließen die Autoren, dass die vagale Regulation bei Frauen ausgeprägter ist als bei Männern [57, 74, 92]. Zur Erklärung der geschlechtsspezifischen Unterschiede der vegetativen Aktivität wird angeführt, dass Östrogene stimulierend auf die Vagusaktivität wirken [42]. Ferner besitzen Männer eine ausgeprägtere sympathische Innervation der Muskulatur und einen höheren Anteil an Neuronen in sympathischen Ganglien [20, 49].

Die geschlechtsspezifischen Unterschiede der vegetativen Modulation konnten jenseits des 50. Lebensjahres nicht mehr nachgewiesen werden [149]. Die Ergebnisse der „Total Ischemic Burden Bisoprolol Study“ (TIBB-Studie) stützen diesen Sachverhalt. In 30 Zentren acht europäischer Länder wurde unter anderem die HRV von 422 männlichen und weiblichen Patienten im Alter von 31 - 78 Jahren ($\bar{x} = 56,8$ Jahre) untersucht. Es wurden keine altersabhängigen Unterschiede in der Ausprägung der HRV nachgewiesen [28]. In genannter Studie war die Altersspanne mit 47 Jahren jedoch sehr groß. In einer weiteren Studie mit 2722 Probanden mit einem Durchschnittsalters von 55 Jahren ($\sigma = 14$) beeinflussten das Alter und die Ruheherzfrequenz die HRV entscheidender als das Geschlecht, Begleiterkrankungen oder der Konsum von Nikotin oder Kaffee [146]. Außerdem wurde eine lineare Abnahme der HRV mit steigendem Lebensalter beobachtet [92, 111].

2.2.6 Einfluss der Atmung auf Herzrate und Herzratenvariabilität

Die Atmung beeinflusst die Herzrate unmittelbar. Dieser Effekt wird als respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) bezeichnet. Unter Ruhebedingungen nimmt bei Inspiration die HR zu und während der Expiration ab [47]. Ausschlaggebend dafür sind vor allem die Interaktionen zwischen dem Atemzentrum und dem vagalen Anteil des autonomen Nervensystems. Atemabhängige Schwankungen der Druckverhältnisse im Thorax und in den Gefäßen, Änderungen des pH-Wertes sowie der arteriellen pO_2 und pCO_2 wirken zusätzlich modulierend [47, 91, 125]. Im Frequenzspektrum der HRV spiegelt sich der Einfluss der Atmung im HF-Bereich wider. Pomeranz et al. schlossen daraus, dass die RSA durch den Parasympathikus vermittelt wird [115]. Der Einfluss der Atmung auf die HRV verringert sich mit zunehmendem Alter [133, 135].

In Studien ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in der Ausprägung der HRV-Parameter zwischen spontaner und kontrollierter Atmung [27, 85, 89].

Außerdem kann davon ausgegangen werden, dass sich nach einer Ruhephase von fünf Minuten eine konstante und entspannte Bauchatmung einstellt, welche eine verlässliche Analyse des Frequenzspektrums ermöglicht [88].

2.2.7 Zirkadiane Rhythmik der Herzratenvariabilität

Im Gegensatz zu Patienten mit koronarer Herzkrankheit weisen gesunde Personen einen deutlichen zirkadianen Rhythmus der HRV auf. Dabei ist die HRV im Schlaf deutlich höher als während des Wachzustandes [30]. Sie erreicht ihr Maximum kurz vor dem Erwachen [72]. Im Laufe der Wachphase kommt es zu einem steilen Anstieg der Anteile der LF-Bereiche und einem HF-Abfall [73].

Huikuri et al. berichten, dass die Ausprägungen der HRV-Parameter während der Wachphase lediglich in der Zeit von 12.00-14.00 Uhr leicht schwankten [72]. In diesem Zeitraum wurde eine Verschiebung des Frequenzspektrums der HRV zu Gunsten der hochfrequenten Anteile beobachtet. Da die beurlaubten Probanden in dieser Untersuchung ihrem gewohnten Tagesablauf nachgingen, lässt sich vermuten, dass die Schwankungen Folge geringerer körperlicher Aktivität während der Mittagspause waren.

2.2.8 Physiologische Grundlagen des Einflusses von Wärmebelastung und Immersion auf das Herz-Kreislauf-System

Bei heißen Torfbreibädern dominiert die thermophysikalische Wirkung (Wärme- und Immersionseffekt) auf den Körper der Badenden [118]. Die Wärmesensoren der Haut werden durch den Torfbrei, welcher die Personen bis auf Hals- und Kopfbereich umgibt, stimuliert. Vom Torfbrei wird durch Konduktion (Wärmeleitung) Wärme an die Körperschale und von dort aus durch Konvektion (Übertragung thermischer Energie durch Teilchen-transport im Blut) in den Körperkern transportiert. Warmrezeptoren des Körperkerns, insbesondere des rostralen Hypothalamus und des Rückenmarks, werden dadurch aktiviert. Im Hypothalamus konvergieren die afferenten Temperatursignale, und der Istwert der Körperkerntemperatur wird mit dem Sollwert verglichen. Die Sympathikusaktivität wird gesenkt, es kommt zur geringeren Noradrenalinbindung an α_1 -Adrenorezeptoren und daraufhin zu einer Vasodilatation der Hautgefäße [80]. Außerdem werden vor allem in den Extremitäten arteriovenöse Anastomosen geöffnet, wodurch die Hautdurchblutung bis auf 3-4 l/min. ansteigen kann. Kinine, die im Rahmen sympathisch-cholinerger Schweißdrüsenstimulation freigesetzt werden und Adrenalin aus dem Nebennierenmark (β_2 -Rezeptoren) wirken ebenfalls vasodilatierend [55, 80]. Außerdem kommt es zu einer Blutvolumenverschiebung aus den tiefen Venenplexus der Haut in die oberflächlichen Venenplexus. Die Axonreflex-Hypothese besagt, dass Nervenfortsätze der Wärmerezeptoren direkt eine Vasodilatation der glatten Muskulatur der Hautgefäße vermitteln [55]. In Summe wird dadurch vermehrt überschüssige Wärme durch Konvektion von der nicht vom Torfbrei bedeckten Haut (9% der gesamten Körperoberfläche) an die umgebende Luft abgegeben [75].

Aufgrund der Vasodilatation kommt es initial zum Blutdruckabfall, der durch Barorezeptoren im Aortenbogen und in der Karotidgabel registriert wird. Diese Erregungen werden durch afferente Fasern des N. (Nervus) vagus und N. glossopharyngeus zum Nucleus Solitarius des Hypothalamus geleitet. Dort wird der Istwert des Blutdrucks mit dessen Sollwert verglichen. Eine Aktivierung des Sympathikus und eine Aktivitätsminderung des Parasympathikus durch efferente Fasern sind die Folgen [48]. Da die sympathischen Nervenfasern modulierend am Sinusknoten wirken, steigen die HR, das Schlagvolumen und damit das HZV an. Die HRV sinkt. Mit der Erhöhung der Körperkerntemperatur geht auch eine direkte thermische Beeinflussung des Sinusknotens einher. Daraus folgt nach Bolter et al. ebenfalls eine Erhöhung der HR [29].

Im Folgenden wird kurz der *Immersionseffekt* auf den menschlichen Körper dargestellt. Da keine Vergleichsstudien zur Wirkung von Immersion und Temperatur auf die HR und die HRV während des Torfbreibades vorliegen, sollen Untersuchungen an Probanden im Wasserbad grundlegende physiologische Vorgänge verdeutlichen.

Im thermoneutralen Wasserbad kommt es durch die vom Immersionsdruck des Wassers bewirkte Blutvolumenumverteilung aus der Peripherie in die thorakalen Gefäße zu einer thorakalen Hypervolämie. Daraufhin steigen der rechtsventrikuläre und pulmonale Druck, das SV und das HZV an [95].

Perini et al. wiesen eine erniedrigte HR und eine erhöhte HRV während der Immersion thermoneutralen Wassers nach. Sie und Miwa et al. schließen aus ihren Untersuchungen, dass die Immersion thermoneutralen Wassers eine vagale Dominanz zur Folge hat [113, 101]. Sramek et al. stellten ebenfalls eine niedrigere HR während der Immersion thermoneutralen Wassers fest. Sie konnten jedoch erniedrigte Plasmakonzentrationen von Renin, Cortisol und Aldosteron während des Bades messen, welche die Diurese entsprechend steigerten. Damit wiesen sie nach, dass die beschriebenen physiologischen Veränderungen auf der Wirkung von humoralen Wirkmechanismen beruhen [138].

2.2.9 Einfluss der Befindlichkeit bzw. der Stimmung auf die Herzratenvariabilität

Nach Mück-Weymann gehen Störungen der Befindlichkeit aufgrund psycho-neuro-kardialer Funktionskreise mit eingeschränkter vegetativer Adaptation einher. Daher bezeichnet er die HRV als „Globalindikator für psycho-physische Zustände des Menschen in seiner Lebenswelt“ [103].

McCraty et al. wiesen einen signifikanten Einfluss der Stimmungen auf das kardiovaskuläre System und damit auch auf die HRV nach [99]. Emotionaler und mentaler Stress infolge schlechter Befindlichkeit aktivieren den Sympathikus und reduzieren die Parasympathikusaktivität. Untersuchungen des Einflusses von Depression, Ärger und sozialer Isolation auf die HRV ergaben, dass die HRV sank (gesenkte HF-Komponente, erhöhter Quotient LF/HF), wobei die HR und der Blutdruck anstiegen [40, 65, 68, 99].

Bei Entspannung und wohlwollender Grundhaltung gegenüber Mitmenschen nahm die HRV deutlich zu. Das Produkt aus SD1 und SD2 wurde größer, der Anteil der HF am Gesamtspektrum der Herzrate stieg an, und der Anteil der LF fiel ab. Dementsprechend verringerte sich auch der Quotient LF/HF [25, 99, 103].

Da eine eingeschränkte HRV mit einem erhöhten Risiko für Herz - Kreislauf - Erkrankungen einhergeht, kann geschlussfolgert werden, dass psychologische Einflüsse, die negative Emotionen und Empfindungen minimieren und positive fördern, protektiv auf die kardiovaskuläre Funktion wirken [87, 103]. Um die HRV aktiv zu steigern und somit die kardiovaskuläre Funktion und Prognose zu verbessern, werden Entspannungsverfahren, Atemtherapie, Biofeedback und dosiertes körperliches Training vorgeschlagen [103].

2.2.10 Beeinflussung der Herzratenvariabilität durch weitere Parameter

Im Folgenden werden Erkrankungen und Einflussfaktoren aufgelistet, die nachweislich die HRV beeinflussen und die im Kapitel 2.2 noch nicht genannt wurden. Da sie nicht Gegenstand der Studie sind, wird nicht näher auf die Ausprägung der Einflüsse eingegangen. Sie wurden jedoch bei der Erstellung der Ausschlusskriterien berücksichtigt.

- Asthma bronchiale [145]
- Stoffwechselerkrankungen (insbesondere Hyper- oder Hypothyreose, Diabetes mellitus Typ 1 oder 2) [18, 155]
- Myokardinsuffizienz [28]
- Sepsis [144]
- Obstruktives Schlafapnoe-Syndrom [19]
- Einnahme herz- und gefäßwirksamer Medikamente, β 2-Sympathikomimetika, Antidepressiva [34, 36]
- Anhaltende Depressionen [35]
- schwere Traumata [122]
- bekannter Alkohol- oder Drogenmissbrauch [143]
- Adipositas [81]
- Schwangerschaft [46]
- regelmäßige Saunagänge [31]
- aktuelle Menstruationsblutungen [42]
- sportliche Betätigung über 10 h/Woche [90]
- Nikotinkonsum [139]

2.3 Fragestellungen und Ziele der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit soll erstmals der Einfluss der Torfbreibadtherapie auf das vegetative Nervensystem junger gesunder Probandinnen mittels HR- und HRV-Analyse untersucht werden. Sie hat deshalb den Charakter einer Pilotstudie.

Die Ergebnisse sollten mit Ergebnissen von HR- und HRV-Untersuchungen im Warmwasserbad gleicher Temperatur verglichen werden, um Rückschlüsse über die Eignung der beiden Bademedien zur Hyperthermiebehandlung zu ziehen.

Da die HRV die physische Beanspruchung des Körpers widerspiegelt, soll durch Bestimmung der HRV-Parameter untersucht werden, ob und in welcher Weise Auswirkungen des Torfbreibades auf die Probandinnen auch während einer 20-minütigen Nachruhephase nachweisbar sind.

Ferner soll der Einfluss der Torfbreibadtherapie auf die Befindlichkeit und die Stimmung untersucht werden.

Es interessiert außerdem, ob die gewählten Messmethoden und der Untersuchungsplan praxistauglich sind und ob valide Daten erhoben werden können. In Abhängigkeit von den Ergebnissen sollen Empfehlungen für weiterführende Untersuchungen mit ähnlicher Fragestellung formuliert werden.

3 Material und Methoden

3.1 Probandinnen

Wegen der bekannten geschlechtsspezifischen Ausprägung der HRV (Kapitel 2.2.5) nahmen an der Studie ausschließlich Frauen ($n = 27$) teil. Sie wurden aus Mitarbeiterinnen der Dr. Ebel Fachklinik „Moorbad“ Bad Doberan und Studentinnen der Universität Rostock rekrutiert. Bezug nehmend auf die Kapitel 2.1.3, 2.2.5 und 2.2.10 wurden bei der Auswahl der Probandinnen folgende Ein- und Ausschlusskriterien zugrunde gelegt:

Einschlusskriterien

- weiblich
- Alter von 20 bis 50 Jahre
- Normalgewicht (Body-Mass-Index (BMI) = $18,5 \text{ kg/m}^2$ - 25 kg/m^2)

Ausschlusskriterien

- Nikotinkonsum
- Pathologisches Ruhe-EKG
- Wärmeüberempfindlichkeit
- Herzschrittmacherträger
- Fieber
- unbehandelter oder unzureichend eingestellter Hypertonus
- Stoffwechselerkrankungen (insbesondere Hyper- oder Hypothyreose, Diabetes mellitus Typ 1 oder 2)
- Kardiale Beschwerden schon bei geringer Belastung
- Einnahme herz- und gefäßwirksamer Medikamente, Antidepressiva
- Varikosis (außer Besenreiservarizen und retikulärer Varikosis)
- bekannter Alkohol- oder Drogenmissbrauch
- Ödeme kardialer oder renaler Genese
- Adipositas
- Depressionen

- akuter Zustand nach Trauma
- Tumorerkrankungen
- Schwangerschaft
- regelmäßige Saunagänge
- aktuelle Menstruationsblutungen
- sportliche Betätigung über 10 h/Woche
- Entzündungszustände
- Hauterkrankungen und großflächige Hautverletzungen
- respiratorische Insuffizienz
- Teilnahme an anderen klinischen Studien während dieser Untersuchungen oder innerhalb der letzten 30 Tage vor Beginn dieser Studie

3.2 Durchführung der Studie

3.2.1 Aufklärung und Einwilligungserklärung

Die Probandinnen wurden von der Versuchsleiterin unmittelbar vor der Datenerhebung in einem Aufklärungsgespräch über Ablauf und Zielstellung der Studie informiert. Vor Beginn der Untersuchung (Abbildung 3.1) füllten die Probandinnen einen Fragebogen (Anhang C) aus, in dem Alter, Größe und Gewicht abgefragt wurden. Es wurden nur diejenigen Personen in die Studie aufgenommen, die alle Einschlusskriterien erfüllten und bei denen kein Ausschlusskriterium zutraf.

Die Probandeninformation und die -einwilligung wurden von den Probandinnen, nachdem sie ausreichend Gelegenheit für Rückfragen hatten, unterzeichnet.

3.2.2 Ethikvotum

Das positive Votum der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Rostock lag vor Beginn der Untersuchung vor (Reg.-Nr.: A 24/2006).

3.2.3 Ablauf der Studie

Die Untersuchungen wurden von August 2006 bis Oktober 2006 jeweils von 11:50 Uhr - 13:20 Uhr in der Dr. Ebel Fachklinik „Moorbad“ Bad Doberan durchgeführt. In diesem Zeitraum waren der Routine-Badebetrieb unterbrochen und damit die Umgebungsgerausche in den Räumlichkeiten der Badeabteilung gering.

Die Temperaturen des Ruhe- und Baderaumes sowie des Torfbreies (Tabelle 4-2) wurden mit einem digitalen Thermometer (Greisinger GTH 175/PT Temperatur-Messgerät mit Tauchfühler, Messgenauigkeit $0,1\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ Digit}$) zu Beginn jeder Messphase registriert.



Abbildung 3.1: Ablaufplan der Datenerhebung

Die Probandinnen füllten zunächst selbstständig zwei psychologische Fragebögen aus: die Kurzform des Mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogens (MDBF-A) und danach die Kurzform des Mainzer Stimmungsfragebogens (MStF-K). Anschließend entkleideten sich die Probandinnen, legten sich im Ruheraum auf eine Liege und wurden zugedeckt.

Während der folgenden 20-minütigen *Vorruhephase (1)* wurde ein Elektrokardiogramm (EKG) mit dem Langzeit-EKG-Rekorder „Syneflash“ und der Software „SynescopeTM“ der Firma Ela medical® (SORIN GROUP, München, Deutschland) aufgezeichnet.

Die Klebeelektroden „Blue Sensor® VL“ des Herstellers Ambu wurden dabei an den beiden Unterarmen (drei rechts, zwei links) angebracht (Abbildung 3.2), verblieben dort während der gesamten Untersuchung und gewährleisteten eine zweikanalige Ableitung der Herzaktion. Diese Art der Ableitung ist gewählt worden, damit während des Torfbreibades ein möglichst großer Teil des Körpers vom Torf bedeckt blieb und dennoch eine EKG-Registrierung ermöglicht wurde. Außerdem ermöglicht die zweikanalige Ableitung die Auswertung eines kompletten Datensatzes auch dann, wenn sich eine Elektrode lösen sollte.

Die genannten Klebeelektroden sind laut Herstellerinformation besonders für die Langzeit-EKG-Registrierung geeignet und haften zuverlässig während des Duschens [16].

Während des sich anschließenden 20-minütigen *Torfbreibades* im Baderaum, der dem Ruheraum unmittelbar benachbart war, wurde die EKG-Aufzeichnung fortgesetzt.

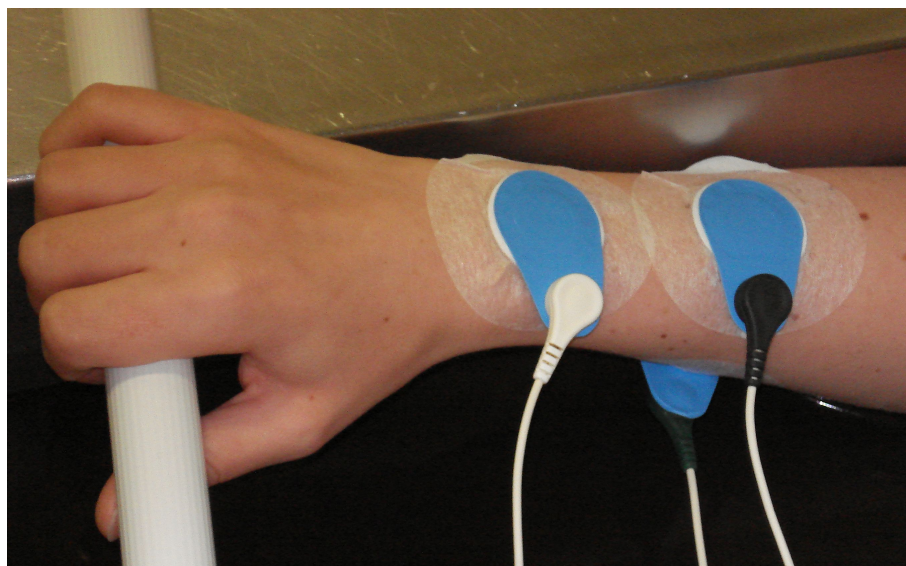


Abbildung 3.2: Position der Elektroden während der Datenerhebung

Während des Bades waren lediglich Kopf, Hals, Unterarme und Hände nicht vom Torfbrei bedeckt. Die Hände wurden auf einer Holzstange, die quer über der Wanne positioniert war, abgelegt (Abbildung 3.3), um das Durchnässen der Elektroden zu vermeiden.



Abbildung 3.3: Probandin in der Wanne während der Torfbreibadphase

Nach Beendigung der Badephase wurden die Kabel des Messgerätes von den Klebeelektroden entfernt und die Probandinnen wurden mit Wasser von 36 °C kurz abgeduscht. Es wurde darauf geachtet, dass die Elektroden nicht vom Duschwasser durchnässt wurden. Geschah dies dennoch, wurden nach dem Abtrocknen neue Elektroden an denselben Stellen des Unterarmes aufgeklebt.

In der darauf folgenden *Nachruhephase* wurde eine 20-minütige EKG-Aufzeichnung an den sich auf der Liege befindenden und zugedeckten Probandinnen vorgenommen. Abschließend wurden wieder ein MDBF-A und ein MStF-K von den Probandinnen ausgefüllt.

3.3 Datenverarbeitung

Die aufgezeichneten EKG-Daten wurden in einen Personalcomputer der Kardiologischen Klinik des Zentrums für Innere Medizin der Universität Rostock eingelesen. Mit der Software „SynescopeTM“ der Firma Ela medical® (SORIN GROUP, München, Deutschland) wurden die EKGs betrachtet, beurteilt und Artefakte gekennzeichnet.

Auffälligkeiten im Ruhe-EKG der Vorruhephase hätte zum Ausschluss der betroffenen Probandin von der Gesamtauswertung geführt. Dieser Fall trat jedoch nicht ein.

Die Werte der RR-Abstände mit zugehörigen Zeitangaben, Charakterisierungen („N“ für Normalschlag oder „A“ für Artefakt) und Kennzeichnung der Messphasen mit Hilfe des Ausdrucks „Marker“ wurden auf eine Speicherkarte übertragen. Aus diesen Daten wurden mit dem Programm Microsoft Excel 2003 die Artefakte ($< 5\%$ der Messwerte) manuell eliminiert und durch einen Mittelwert aus dem vorangehenden und dem nachfolgenden Messwert ersetzt. Dann wurden Textdateien der Zeitreihen der RR-Intervalle jeder Messphase (Vorruhe-, Torfbrei-, Nachruhephase) erstellt und die Zeitreihen mit der „Software for advanced HRV analysis“ ausgewertet [110].

Aufgrund der Erkenntnisse über die Beeinflussung der HRV-Parameter durch die Atmung (Kapitel 2.2.6) wurden die ersten fünf Minuten der Vorruhephase nicht in die Analyse einbezogen, um einen annähernd konstanten Atemrhythmus im ausgewerteten Zeitraum zu gewährleisten.

Die Torfbreibadphase (2a, 2b, 2c) und die Nachruhephase (3a, 3b, 3c) wurden in drei Abschnitte von jeweils 400 Sekunden unterteilt, um regulative Vorgänge erkennbar zu machen.

Da in der Vorruhephase (1) lediglich Ausgangswerte ermittelt wurden, entfiel hier die Unterteilung.

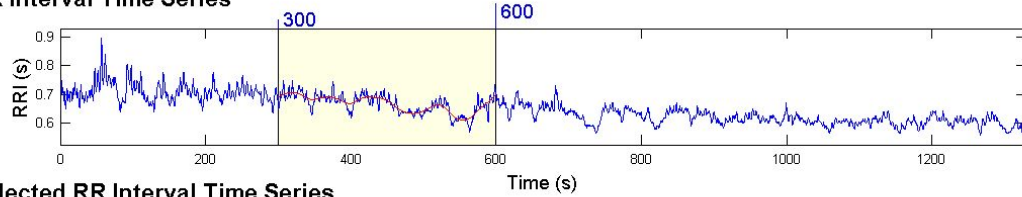
3.3.1 Beschreibung der HRV-Analyse Software

Zur Berechnung der HRV-Parameter wurde die Software „Software for advanced HRV analysis“ Version 1.1 aus dem Jahre 2002 verwendet. Sie wurde von der Universität Kuopio in Finnland entwickelt. Seit 2008 bzw. 2012 sind Nachfolgeversionen „Kubios HRV Analysis Software“ erhältlich. Mit Hilfe der Software können die üblichen Parameter des Zeit- und Frequenzbereiches bzw. der Poincaré-Plot bestimmbarer Zeitintervalle ermittelt werden. Die Frequenzanalyse wurde in der nicht parametrischen Fast-Fourier-Transformation durchgeführt. Bei der Fourieranalyse wird eine ursprüngliche Funktion, in diesem Fall die vom Trend bereinigte Funktion der RR-Intervalle über der Zeit, in einer Summe harmonisch verwandter Sinus- und Cosinusfunktion dargestellt. Die sich daraus ergebenden Schwingungen werden anschließend bezüglich ihrer Amplitude und Frequenz untersucht.

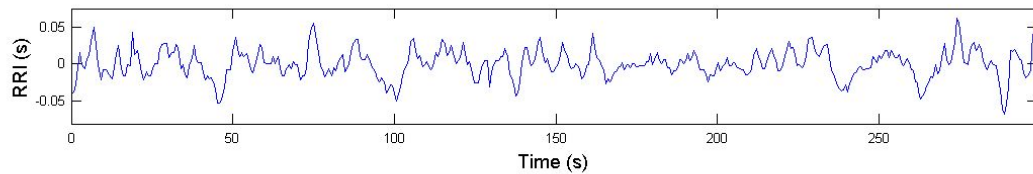
Es ergibt sich ein Frequenzspektrum, aus dem die HRV-Werte der Frequenzdomäne abgelesen werden können. Die Ergebnisse wurden durch das Programm kompakt auf einer Seite zusammengefasst (Abbildung 3.4). Anschließend wurden sie als Textdatei gespeichert und zur besseren Verwaltung in eine Excel-Tabelle überführt.

Heart Rate Variability Analysis

RR Interval Time Series



Selected RR Interval Time Series



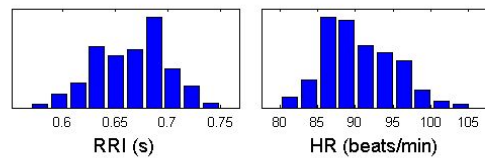
Time Domain Results

Variable	Units	Value
Statistical Measures		
Mean RR*	(s)	0.666
STD	(s)	0.019
Mean HR*	(1/min)	90.33
STD	(1/min)	3.31
RMSSD	(ms)	11.7
NN50	(count)	0
pNN50	(%)	0.0

Geometric Measures

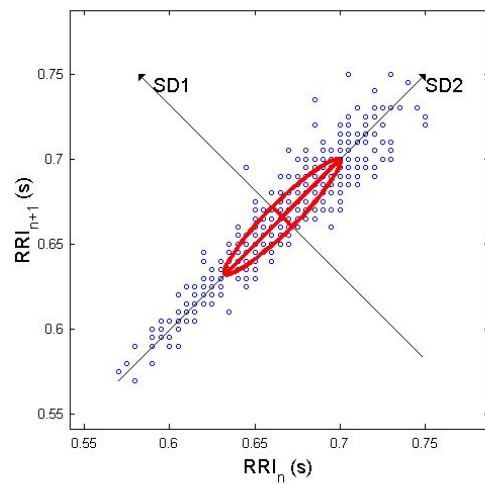
RR triangular index		0.035
TINN	(ms)	95.0

Distributions*

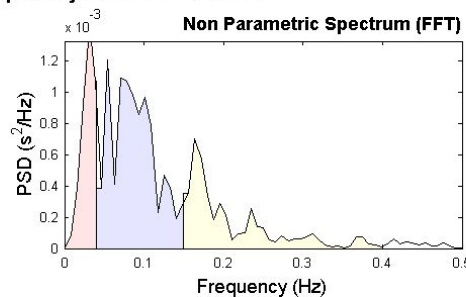


Poincare Plot*

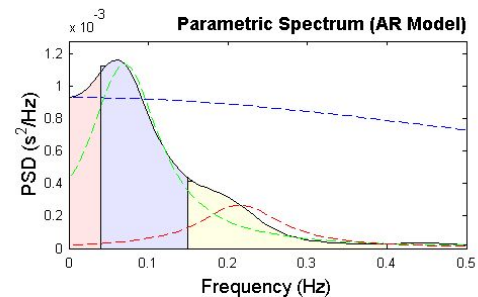
SD1 = 8.3 ms \leftrightarrow (Short-term HRV)
SD2 = 47.7 ms \leftrightarrow (Long-term HRV)



Frequency Domain Results



Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms ²)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF	0.0313	27	19.9	
LF	0.0547	75	55.1	68.8
HF	0.1641	34	25.0	31.2
LF/HF			2.208	



Frequency Band	Peak (Hz)	Power (ms ²)	Power (%)	Power (n.u.)
VLF	0.0000	0	0.0	
LF	0.0703	72	84.1	81.2
HF	0.2188	14	15.9	15.4
LF/HF			5.292	

*Results are calculated from the non-detrended selected RRI signal.

Abbildung 3.4: Beispiel für eine Zusammenfassung der Ergebnisse einer HRV-Analyse mit der „Software for advanced HRV analysis“ [110]

3.4 Statistik

Statistische Analyse der HRV-Parameterwerte

Die Mittelwerte (\bar{x}), Standardabweichungen (σ), Mediane (\tilde{x}) und die 95 % Konfidenzintervalle (CI) folgender HRV-Parameter wurden ermittelt: HR (bpm = beats per minute = Schläge pro Minute), RMSSD (ms), LF (%), HF (%), LF/HF.

Um altersabhängige HR-Veränderungen zu berechnen, wurde die HR der 20 - 30 jährigen Probandinnen (n = 15) und der 31 - 50 jährigen Probandinnen (n = 6) separat untersucht. Die Messwerte wurden in einer Excel-Tabelle dokumentiert und mit dem Statistikprogramm SPSS (Version 15) analysiert.

Bei den zu betrachtenden Merkmalen der HRV-Parameter der unterschiedlichen Phasen handelt es sich um quantitative Stichproben.

Der Kolmogorov-Smirnov-Test ergab, dass die meisten Stichproben nicht normalverteilt waren. Es wurden deshalb ausschließlich parameterfreie Tests verwendet. Zur Prüfung der zeitabhängigen Unterschiede zwischen den Merkmalen wurden der Friedman- bzw. der Wilcoxon-Test für nicht normalverteilte abhängige Merkmale durchgeführt.

Folgende Signifikanzniveaus wurden zugrunde gelegt:

Tabelle 3-1: Signifikanzniveaus nach P. Zöfel [154]

Irrtumswahrscheinlichkeit p	$\geq 0,05$	$< 0,05$	$< 0,01$	$< 0,001$
Bedeutung	nicht signifikant	signifikant	sehr signifikant	hoch signifikant
Symbol	ns	*	**	***

Die Berechnungen mit dem Friedman-Test für mehrere abhängige Stichproben ergaben, dass hochsignifikante ($p < 0,001$) Unterschiede zwischen den einzelnen Messphasen (Phase 1, Phase 2a - 2c, Phase 3a - 3c) bestanden.

Mit dem Wilcoxon-Test für zwei abhängige Stichproben wurde geprüft, zwischen welchen Phasen diese signifikanten Unterschiede bestanden und welche Signifikanzniveaus erreicht wurden. Um altersabhängige HR-Unterschiede zu untersuchen, wurde der Kruskal-Wallis-Test für nicht normalverteilte unabhängige Merkmale verwendet.

Bei mindestens zehn vorliegenden Einzelwerten darf ein Wert als Ausreißer verworfen werden, wenn er außerhalb eines Bereiches von $\bar{x} \pm 4\sigma$ liegt [124]. Mittelwert und Standardabweichung werden dabei ohne den ausreißerverdächtigen Wert berechnet. Diese Regel wurde auch in der vorliegenden Arbeit angewandt.

Analyse der Merkmale der psychologischen Fragebögen

Zu Beginn der Auswertung des MDBF-A wurden entsprechend der Auswertungsanleitung die Zahlenwerte umkodiert, mit denen die negativ gepolten Adjektive (Kapitel 3.6) bewertet wurden [141]. Ordnete eine Probandin beispielsweise dem Adjektiv „schlecht“ den Wert „1“ zu, erfolgte durch die Umkodierung eine Zuordnung des Zahlenwertes „5“ der Likertskala. Dieser Arbeitsschritt wurde durch eine zum Testzubehör gehörende Schablone vereinfacht. Im Programm Microsoft Excel 2003 wurden die Zahlenwerte (Kapitel 3.6) in Listen zusammengefasst und anschließend mit SPSS (Version 15) analysiert.

Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Items und der übergeordneten Skalen wurden berechnet. Die Skalenwerte des MDBF-A wurden durch Addition der zugehörigen Itemwerte ermittelt [141]. Beim MStF-A wurden die arithmetischen Mittel der Itemwerte einer Skala errechnet, um den Skalenwert zu erhalten [52].

Kolmogorov-Smirnov-Tests ergaben, dass die Parameter nicht normalverteilt waren. Mit Hilfe des Friedman- bzw. des Wilcoxon-Testes für nicht normalverteilte Parameter wurden die zeitlich abhängigen Unterschiede der Merkmale zwischen der Erfassung vor und nach dem Torfbreibad ermittelt. Einerseits wurden die Ausprägungen der einzelnen Parameter gegenübergestellt und andererseits die Items der einzelnen Skalen als Einheit betrachtet und die Skalenwerte verglichen. Es wurden die gleichen Signifikanzniveaus wie für die HRV-Parameter zugrunde gelegt (Tabelle 3-1).

3.5 Ergebnisdarstellung

Die Ergebnisse werden in Tabellen und Abbildungen dargestellt. In den Tabellen werden die Mittelwerte (\bar{x}), die Standardabweichungen (σ), die Mediane (\tilde{x}) und die 95 %-Konfidenzintervalle (CI) der Parameter der sieben Phasen der HRV-Messung (1, 2a-2c, 3a-3c) und der beiden Befragungen mittels der psychologische Fragebögen (t1, t2) angegeben (siehe 3.1).

Zur graphischen Darstellung der HRV-Werte wurden mit Hilfe des SPSS-Programmes Boxplots erstellt. Sie dienen der Veranschaulichung der Verteilung der statistischen Daten. Minimum und Maximum werden durch den unteren bzw. oberen Strich gekennzeichnet und sind durch die Whiskers (Schnurrhaare) mit der Box verbunden. Der Abstand zwischen Minimum und Maximum entspricht der Spannweite. Der Median wird durch den Querbalken in der Box veranschaulicht. Die obere Kastengrenze kennzeichnet die untere Grenze des (vierten) Quartiles und die untere Kastengrenze kennzeichnet die obere Grenze des ersten Quartiles. Damit liegen 50 % der Werte innerhalb der Box. Werte, die zwischen 1,5 und 3 Kastenlängen vom benachbarten Kastenrand entfernt sind, werden mit einem Kreis als Ausreißer gekennzeichnet. Ein Wert der über 3 Kastenlängen vom benachbarten Kastenrand entfernt ist, gilt als Extremwert und wird mit einem Sternchen markiert.

3.6 Psychologische Fragebögen

Um den Einfluss des Torfbreibades auf die aktuelle Befindlichkeit und die Stimmung der Probandinnen zu prüfen, wurden ihnen zwei psychologische Fragebögen jeweils vor der ersten Ruhephase und nach der zweiten Ruhephase vorgelegt. Zunächst wurde jeweils die Kurzform A des Mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogens (MDBF) bearbeitet, da es sich bei der Befindlichkeit um einen momentanen Zustand handelt, der von äußeren Einflüssen (z. B. das Ausfüllen eines anderen Fragebogens) beeinflusst wird [12]. Im Anschluss wurde jeweils die Kurzform des Mainzer Stimmungsfragebogens (MStF-K) ausgefüllt. Alle Fragebögen wurden von den Frauen selbstständig ausgefüllt.

3.6.1 Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen (MDBF)

Der seit 1997 verfügbare MDBF wurde von Steyer, Schwenkmezger, Notz und Eid im Rahmen des Projektes zum Thema „Befindlichkeitsmessung und Latent-State-Trait-Modell“ entwickelt [140]. Die Testautoren verstehen unter Befindlichkeit „das momentane innere Erleben und subjektive Empfinden eines Individuums“. Sie lässt sich von Einstellungen, Bedürfnissen, Gefühlen und Organempfindungen abgrenzen. Im Gegensatz zu Motiven und Persönlichkeitseigenschaften ist die Befindlichkeit durch eine geringe zeitliche Stabilität gekennzeichnet. Nach Anastasi charakterisiert die aktuelle Befindlichkeit eine Person in einer Situation [17]. Diese Momentaufnahme läuft normalerweise im Hintergrund des Bewusstseins ab und spiegelt sich in Mimik, Gestik, Verhalten, physiologischen und biochemischen Variablen wider. Bei Bedarf kann sie jedoch auch ins Bewusstsein rücken. Daher kann die Befindlichkeit durch Eigen- und Fremdbeurteilung erfasst werden.

Testaufbau

Es werden folgende drei bipolare Dimensionen der aktuellen Befindlichkeit unterschieden:

- Gute - Schlechte Stimmung (GS Skala)
- Wachheit - Müdigkeit (WM Skala)
- Ruhe - Unruhe (RU Skala)

Zur Erfassung der Ausprägung der Dimensionen dienten Adjektive (Items), die folgenden Satz ergänzen: „Im Moment fühle ich mich “. Die Probandin beurteilte das Zutreffen der Items auf ihr aktuelles Befinden auf einer fünfstufigen Likert-Skala von 1 („überhaupt nicht“) bis 5 („sehr“).

Die Langform des MDBF besteht aus 24 Adjektiven, wobei jeweils acht eine Dimension beschreiben. Dabei ist die Anzahl positiv gepolter und negativ gepolter Items für jede

Dimension gleich. Die Langform des MDBF kann in die beiden Kurzformen A und B unterteilt werden. Sie sind beide aus zwölf Adjektiven aufgebaut, wobei jeweils vier einer Dimension bzw. zwei einem Pol zugeordnet sind.

Für die Torfbreibadstudie wurde die Kurzform A (MDBF-A) gewählt, da die Adjektivauswahl im Vergleich zur Kurzform B als zutreffender eingeschätzt wurde, sie schnell und einfach zu bearbeiten und zu interpretieren ist und die Gütekriterien die Ansprüche an einen psychologischen Test erfüllen.

In der Kurzform A werden den Befindlichkeitsdimensionen folgende Adjektive zugeordnet:

<i>Gute-Schlechte Stimmung</i>	<i>Wachheit-Müdigkeit</i>	<i>Ruhe-Unruhe</i>
1. zufrieden	1. ausgeruht	1. ruhelos
2. schlecht	2. schlapp	2. gelassen
3. gut	3. müde	3. unruhig
4. unwohl	4. munter	4. entspannt

Anwendungsmöglichkeiten

Der MDBF-A kann sowohl bei Jugendlichen als auch bei Erwachsenen angewendet werden. Voraussetzung ist, dass der Proband in der Lage ist, sein Befinden wahrzunehmen. Er muss die Instruktion verstehen und über ein ausreichendes Sprachverständnis verfügen, um die Bedeutung der Adjektive zu erfassen. Außerdem muss er motiviert sein, seine Befindlichkeit anhand der vorgegebenen Adjektive unverfälscht zu beschreiben.

Der MDBF wird z. B. in der Therapieevaluation und Grundlagenforschung der Psychophysiologie, Psychopharmakologie und Sportpsychologie angewendet [141].

Durchführung

Der MDBF-A ist durch die genaue Instruktion auf der Vorderseite des Fragebogens und durch die eindeutigen Antwortenvorgaben auf der Rückseite einfach zu handhaben. Der Proband bearbeitet die Items durch Ankreuzen auf der Antwortenskala. Die Bearbeitungszeit beträgt 3-6 Minuten.

Interpretation

Hohe Werte auf der GS-Skala deuten auf eine positive Stimmung hin. Die Person fühlt sich dementsprechend gut und ist zufrieden. Niedrige Werte kennzeichnen Missbefinden. Hohe Werte auf der WM-Skala werden bei der Befragung von ausgeruhten, munteren Proband erzielt, wohingegen sich Probanden mit niedrigen Werten auf der WM-Skala eher müde und schlapp fühlen.

Werden hohe Werte auf der RU-Skala ermittelt, kann darauf geschlossen werden, dass sich

der Proband innerlich ruhig und gelassen fühlt. Niedrige Werte werden bei ruhelosen und unruhigen Personen erzielt [141].

Gütekriterien

Ein qualifizierter Test muss folgende Gütekriterien erfüllen:

- Objektivität
- Reliabilität
- Validität

Die statistische Analyse der Gütekriterien wurde von Steyer et al. in einer Untersuchung mit 503 Probanden durchgeführt [141]. Die Personen füllten die Langform des MDBF viermal im Abstand von drei Wochen aus. Da die Kurzformen aus der Langform hervorgehen, konnten die Gütekriterien für alle drei Fragebögen errechnet werden.

Da in der aktuellen Studie die Kurzform A des MDBF verwendet wurde, wird im Folgenden nur auf die Gütekriterien dieser Form intensiver eingegangen.

Objektivität: Die Objektivität ist das Ausmaß, in dem ein Untersuchungsergebnis in Durchführung, Auswertung und Interpretation vom Untersuchungsleiter nicht beeinflusst werden kann [129]. Die Durchführungs- und Auswertungsobjektivität des MDBF-A sind durch die schriftliche Anleitung und die geschlossene Antwortform gesichert.

Reliabilität: Unter Reliabilität versteht man die Zuverlässigkeit, mit der ein Test das misst, was er messen soll.

Der Reliabilitätskoeffizient für die GS-Skala liegt zwischen $r = 0,83$ und $r = 0,89$, für die WM-Skala zwischen $r = 0,84$ und $r = 0,89$ und für die RU-Skala zwischen $r = 0,74$ und $r = 0,83$. Die Reliabilitätskoeffizienten für die Retest-Reliabilität (r_{tt} : Korrelation zwischen zwei Zeitpunkten t_1 und t_2) der Kurzform liegt zwischen $r_{tt} = 0,19$ und $r_{tt} = 0,44$. Diese niedrigen Werte deuten darauf hin, dass die Befindlichkeit im Zeitverlauf Schwankungen unterworfen ist.

Validität: Die Validität (Gültigkeit) gibt die Genauigkeit an, mit der ein Test das misst, was er messen soll. Nach Steyer et al. besitzt der Test Inhaltsvalidität. Personen berichten beispielsweise, wie müde oder wie wach sie sind und diese Angaben werden auch zur Messung der Wachheit oder Müdigkeit verwendet [140].

Eine hohe externe Validität ergibt sich aus der hohen Korrelation mit anderen psychologischen Fragebögen, in denen ebenfalls die Befindlichkeit erfasst werden soll. Beispiele dafür

sind das „Freiburger Persönlichkeitsinventar“ oder die „Freiburger Beschwerdeliste“. Die Itemkorrelation innerhalb der Dimensionen überschreitet die Item-Korrelation zwischen verschiedenen Dimensionen. Dies rechtfertigt laut Steyer et al. die Struktur des MDBF [140].

Normierung: Um die ermittelten Testergebnisse beurteilen zu können, benötigt man einen Mittelwert und eine Standardabweichung von Testergebnissen, die an einer Normstichprobe ermittelt wurden [129].

Da mit den MDBF-A-Skalen Zustandsvariablen erfasst werden, ist es nach Meinung der Testautoren nicht sinnvoll, eine Normierung vorzunehmen. Mittelwerte und Standardabweichungen wurden lediglich zur Orientierung über die Verteilung der Testwerte zu unterschiedlichen Zeitpunkten einer Stichprobe von 503 Personen ermittelt [140].

3.6.2 Kurzform des Mainzer Stimmungsfragebogens (MStF-K)

Fischbeck und Huppmann von der Universität Mainz entwickelten im Jahre 2001 den Mainzer Stimmungsfragebogen (MStF) und dessen Kurzform (MStF-K).

Die Autoren des MStF definierten *Stimmung* als „mehr oder weniger persistierende, ebenso diffuse wie je unterschiedlich unlust- und/oder lustbetontes Zumutesein des Menschen, für welches keine umschriebene Ursache auszumachen ist und das keinen eindeutigen Bezug zu Objekten oder Situationen erkennen lässt“ [76].

Der MStF-K wurde in der Torfbreibadstudie verwendet, um den Verlauf der Stimmung der Probandinnen während der Untersuchung zu erfassen.

Durch ein erneutes Vorlegen des Fragebogens am Ende der Datenerhebung sollte untersucht werden, ob die Stimmung durch das Torfbreibad beeinflusst wurde. So kann gezeigt werden, ob die Stimmung wirklich „keinen eindeutigen Bezug zu Objekten oder Situationen erkennen lässt“ [76].

Testaufbau

Beim MStF-K werden drei Stimmungsdimensionen unterschieden:

- *ängstlich - gedrückte Stimmung* (ÄGS)
- *morose Stimmung* (MOS)
- *gehobene Stimmung* (GHS)

Den Skalen der Langform des Mainzer Stimmungsfragebogens (MStF) wurden insgesamt 24 Adjektive (Items) zugeordnet. Bei der Entwicklung der Kurzform beschränkte man sich auf 15 (Tabelle 3-2).

Tabelle 3-2: Items der Kurzform des Mainzer Stimmungsfragebogens

ÄGS	MOS	GHS
besorgt	gereizt	gutgelaunt
ängstlich	grantig	fröhlich
bang	mürrisch	vergnügt
hilflos	übellaunig	fidel
verzweifelt	missgelaunt	frohgemut

Anwendungsmöglichkeiten

Die Testautoren empfehlen die Anwendung des Fragebogens in Interventionsstudien, bei denen die Bewertung der Lebensqualität der Probanden von Interesse ist, und in psychopharmakologischen Untersuchungen. Außerdem sei er geeignet, um die Stimmung zu erfragen, wenn deren Einfluss vermutet wird (z. B. bei der Beantwortung von Fragebögen) [52].

Durchführung

In einem kurzen Erläuterungstext kann sich der Proband vor dem Bearbeiten über die Durchführung informieren. Anschließend kreuzt er auf einer fünfstufigen Likert-Skala von 1 („nicht“) bis 5 („sehr“) an, „in welchem Ausmaß er momentan so wie angegeben gestimmt ist“ [52]. Dafür müssen 2-3 Minuten eingeplant werden.

Interpretation

Entsprechend der Auswertungsanleitung werden hohe Werte der ÄGS-Skala als Ausdruck ängstlicher und gedrückter Stimmung gedeutet. Hohe Werte der MOS-Skala werden als Ausdruck verdrießlicher/moroser Stimmung interpretiert und hohe Werte der GHS-Skala weisen auf eine gehobene Stimmung hin.

Gütekriterien

Die Qualität des MStF-K wurde mittels der gleichen Gütekriterien (Objektivität, Reliabilität, Validität) bewertet wie bei der Beurteilung des MDBF-A (Kapitel 3.6.1).

Objektivität: Die Durchführungs- und Auswertungsobjektivität des MStF-K ist durch die schriftliche Anleitung und die geschlossene Antwortform gesichert. Die Interpretationsobjektivität ist durch fehlende Normen eingeschränkt.

Reliabilität: In einer Studie mit 174 Studenten ergab sich eine Retest-Reliabilität (r_{tt}) zwischen zwei Messzeitpunkten t_1 und t_2 für die einzelnen Items von $r_{tt} = 0.44$ bis $r_{tt} = 0.71$. Nach einer weiteren Messung zum Zeitpunkt (t_3) betrugen die Korrelationen zwischen den Ergebnissen der zwei Messzeitpunkte t_2 und t_3 $r_{tt} = 0.28$ bis $r_{tt} = 0.31$. Die geringe Retest-Reliabilität stützt die These, dass die Stimmung eine Zustandsvariable ist [52].

Validität: Angaben zur Validitätsbeurteilung liegen noch nicht vor. Eine Rücksprache mit den Testautoren im April 2012 ergab, dass die dafür benötigten Daten zur Zeit ausgewertet werden.

Normierung: Eine Normierung des Fragebogens wurde von den Testautoren nicht vorgenommen. Dies wäre auch nicht sinnvoll, da die Stimmung ganz individuell ist und keine Normwerte zu erheben sind.

4 Ergebnisse

4.1 Charakterisierung der Stichprobe und unerwünschte Ergebnisse

In die Untersuchung wurden 27 Probandinnen aufgenommen. Wegen unvollständiger EKG-Registrierungen mussten die Daten von sechs Probandinnen (22 % der gesamten Probandinnen) von der Evaluation ausgeschlossen werden. Kurz nach dem Anlegen des EKG-Langzeit-Rekorders „Syneflash“ der Firma Ela medical® (SORIN GROUP, München, Deutschland) konnte zwar auf einem Display die Herzaktion nachvollzogen werden, aber nach wenigen Minuten erlosch die optische Anzeige. Damit konnte im weiteren Verlauf der Messung nicht kontrolliert werden, ob die Elektroden einwandfrei befestigt waren. Außerdem schwitzten die Probandinnen während des Bades, die Klebekontakte der Elektroden lösten sich und eine weitere Datenaufzeichnung war nicht mehr möglich. Unerwünschte Wirkungen durch das Torfbreibad oder die HRV-Registrierung traten nicht auf. Die 21 Probandinnen unterschieden sich unwesentlich in Größe, Gewicht und damit auch in ihrem BMI (Tabelle 4-1). Das Alter lag zwischen 20 und 50 Jahren (Abbildung 4.1).

Tabelle 4-1: Angaben zu Alter, Größe, Gewicht und BMI der 21 Probandinnen (\bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung))

Parameter	\bar{x}	σ
Alter [Jahre]	27,5	7,8
Größe [m]	1,69	0,05
Gewicht [kg]	60,9	6,5
BMI [kg/m ²]	21,2	1,7

4.2 Raum- und Torfbreitemperaturen

Die gemessenen Raum- und Torfbreitemperaturen waren sehr konstant (Tabelle 4-2).

Tabelle 4-2: Raumtemperaturen während der drei Messphasen und Torfbreitemperatur gemessen 10 cm unter der Torfbreioberfläche in ° C (\bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung)); $n=21$

Ort	\bar{x}	σ
1. Ruheraummessung [° C]	22,6	0,7
Baderaum [° C]	23,4	0,4
2. Ruheraummessung [° C]	22,7	0,2
Torfbrei [° C]	40,5	0,2

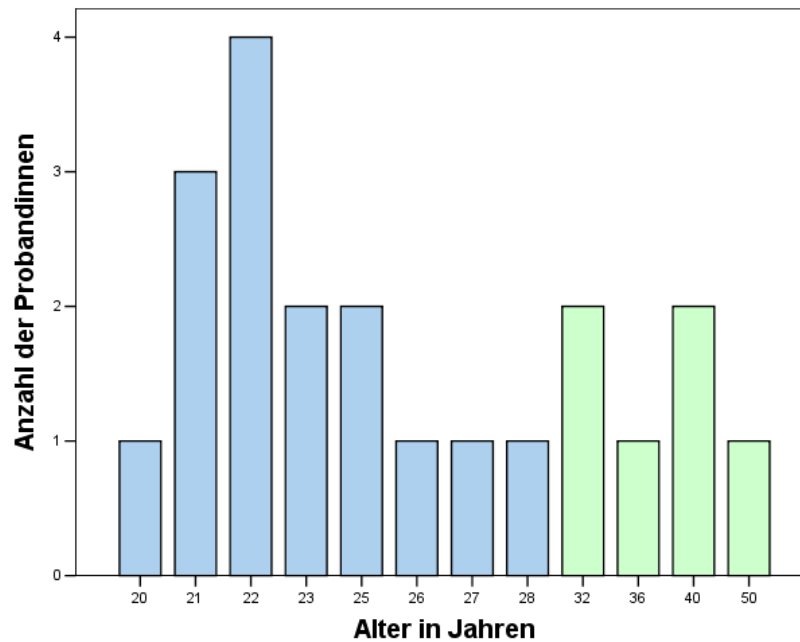


Abbildung 4.1: Altersverteilung der Probandinnen und farbliche Kennzeichnung der Gruppenbildung (20 - 30 Jahre versus 31 - 50 Jahre) für die altersabhängige Herzratenanalyse

4.3 Herzratenvariabilitätsparameter der Zeitbereichsanalyse

4.3.1 Herzrate und deren Altersabhängigkeit

Herzrate der Probandinnen im Alter von 20 - 50 Jahren

Die HR der 21 Probandinnen war in der Vorruhephase (Basiswert, 1) am niedrigsten, stieg hoch signifikant zu Beginn der Badephase (2a) an und erhöhte sich im Verlauf (2b, 2c). Zu Beginn der Nachruhephase (3a) sank die HR hoch signifikant ab und änderte sich im Verlauf dieser Phase (3b-3c) nicht mehr. Die HR in der Nachruhephasephase 3c war signifikant höher als der Basiswert (1) (Tabelle 4-3, Abbildung 4.2).

Tabelle 4-3: Verlauf der Herzrate (bpm) 20-50-jähriger Probandinnen während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhephase (3a-3c)); \bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung); \tilde{x} = Median; 95 % CI = 95 % Konfidenzintervall; $n = 21$

Parameter / Messphase	1	2a	2b	2c	3a	3b	3c
\bar{x} [bpm]	67,3	77,5	83,0	88,4	69,1	69,9	70,4
σ [bpm]	9,8	10,6	11,2	10,8	7,9	9,0	9,0
\tilde{x} [bpm]	69,1	77,6	81,4	87,4	68,4	67,5	70,5
95 % CI [bpm]	62,9	72,7	77,9	83,5	65,5	65,8	66,3
	-	-	-	-	-	-	-
	71,7	82,3	88,1	93,3	72,7	73,9	74,5

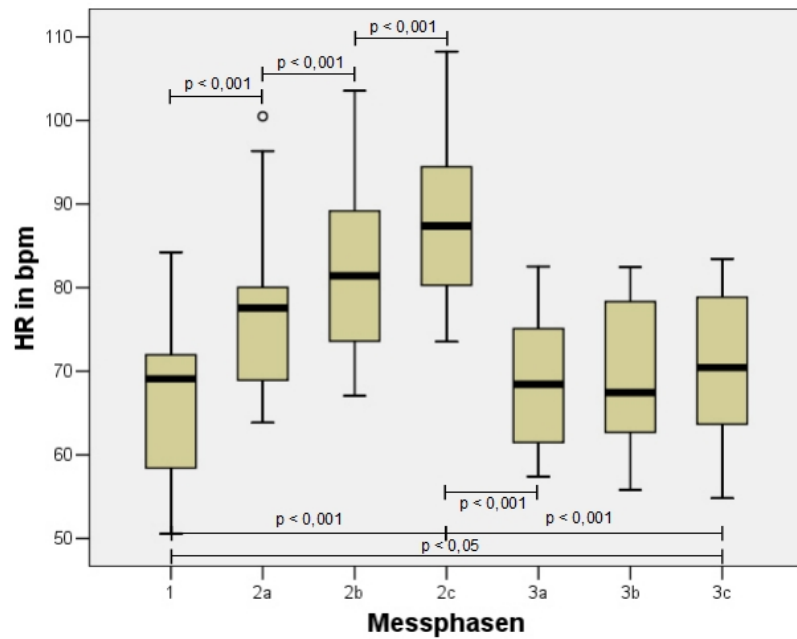


Abbildung 4.2: Verlauf der Herzrate (bpm) 20-50-jähriger Probandinnen während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhephase (3a-3c)); Signifikanzangaben der Werteentwicklungen; $n = 21$; ° = Ausreißer

Herzrate der Probandinnen im Alter von 20-30 Jahren

Die HR der 15 Probandinnen im Alter von 20-30 Jahren war in der 1. Vorruhephase (Basiswert, 1) am niedrigsten, stieg hoch signifikant zu Beginn der Badephase (2a) an und erhöhte sich im Verlauf (2b-2c) noch weiter. Zu Beginn der Nachruhephase (3a) sank die HR hoch signifikant ab und änderte sich im Verlauf dieser Phase (3b-3c) nicht mehr. Die HR in der Nachruhephase 3c unterschied sich nicht vom Basiswert (1) (Tabelle 4-4, Abbildung 4.3).

Tabelle 4-4: Verlauf der Herzrate (bpm) 20-30-jähriger Probandinnen während der drei Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhephase (3a-3c)); \bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung); \tilde{x} = Median; 95 % CI = 95 % Konfidenzintervall; $n = 15$

Parameter / Messphase	1	2a	2b	2c	3a	3b	3c
\bar{x} [bpm]	68,6	78,4	84,0	89,6	69,4	69,9	70,3
σ [bpm]	10,3	12,0	12,4	11,7	8,1	9,0	9,1
\tilde{x} [bpm]	70,0	77,6	81,4	86,3	68,4	67,5	70,5
95 % CI [bpm]	62,9	71,8	77,2	83,1	64,9	64,9	65,2
	-	-	-	-	-	-	-
	74,3	85,0	90,9	96,1	73,9	74,9	75,3

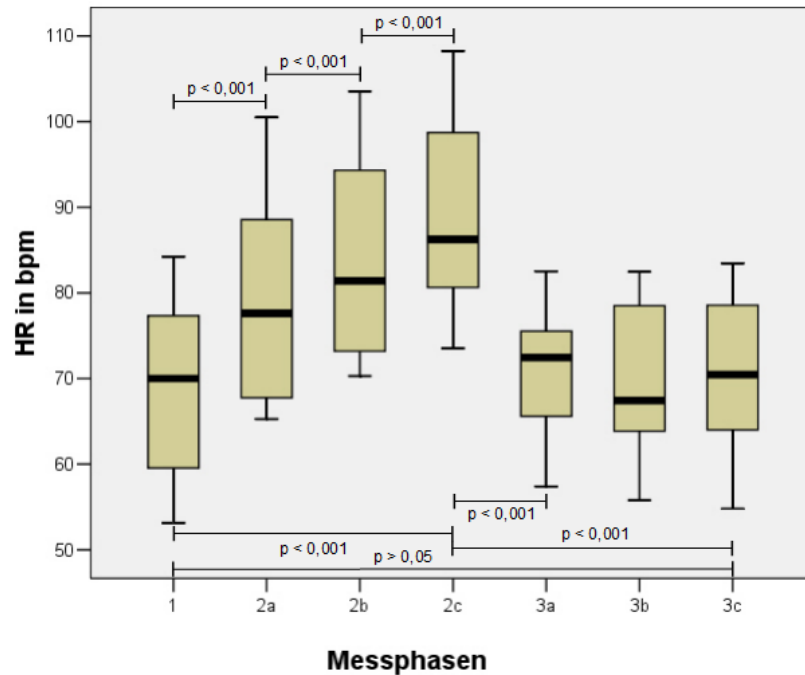


Abbildung 4.3: Verlauf der Herzrate (bpm) der 20-30 Jahre alten Probandinnen während der drei Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhephase (3a-3c)); Signifikanzangaben der Werteentwicklungen; $n = 15$

Herzrate der Probandinnen im Alter von 31 - 50 Jahren

Die HR der sechs Probandinnen im Alter von 31-50 Jahren war in der Vorruhephase (Basiswert, 1) am niedrigsten, stieg signifikant zu Beginn der Badephase (2a) an und erhöhte sich im Verlauf (2b-2c) noch weiter. Zu Beginn der Nachruhephase (3a) sank die HR signifikant ab und änderte sich im Verlauf (3b-3c) dieser Phase nicht mehr. Die HR in der Nachruhephase 3c war nicht signifikant höher als der Basiswert (1) (Tabelle 4-5, Abbildung 4.4).

Tabelle 4-5: Verlauf der Herzrate (bpm) 31-50-jähriger Probandinnen während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhephase (3a-3c)); \bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung); \tilde{x} = Median; 95 % CI = 95 % Konfidenzintervall; $n = 6$

Parameter / Messphase	1	2a	2b	2c	3a	3b	3c
\bar{x} [bpm]	64,0	75,3	80,4	85,5	64,9	69,7	70,8
σ [bpm]	8,1	6,0	8,0	8,3	7,2	9,6	9,4
\tilde{x} [bpm]	66,2	77,4	82,6	88,8	63,4	70,7	71,0
95 % CI [bpm]	55,5	69,1	72,0	76,8	57,3	59,6	60,9
	-	-	-	-	-	-	-
	72,5	81,5	88,7	94,1	72,5	79,7	80,7

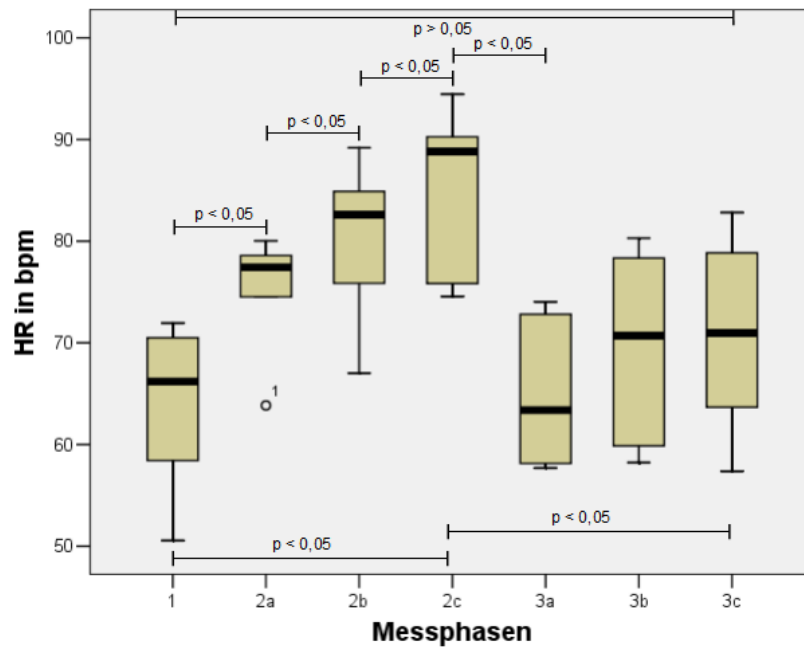


Abbildung 4.4: Verlauf der Herzrate 31 - 50 Jahre alter Probandinnen während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a - 2c), Nachruhephase (3a - 3c)); Signifikanzangaben der Werteentwicklungen; $n = 6$; o^1 = Ausreißer

Signifikante Unterschiede zwischen den HR-Änderungen der einzelnen Messphasen zwischen den 20 - 30-jährigen und 31 - 50-jährigen Probandinnen fanden sich nicht.

4.3.2 Variabilität der RR-Intervalle (RMSSD)

Die Variabilität der RR-Intervalle war in der Vorruhephase (Basiswert, 1) am größten. Im Verlauf der Torfbreibadphase (2a-2c) nahmen die Werte signifikant ab. Die RMSSD in der Nachruhephase (3c) unterschied sich nicht vom Niveau der Vorruhephase (1) (Tabelle 4-6, Abbildung 4.5).

Tabelle 4-6: Verlauf der Variabilität der RR-Intervalle RMSSD (ms) während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhephase (3a-3c)); \bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung); \tilde{x} = Median; 95 % CI = 95 % Konfidenzintervall; $n = 21$

Parameter / Messphase	1	2a	2b	2c	3a	3b	3c
\bar{x} [ms]	47,8	30,3	22,9	19,0	44,6	39,3	40,1
σ [ms]	24,3	17,4	13,4	10,3	22,6	19,8	19,2
\tilde{x} [ms]	45,7	32,0	25,4	17,5	43,5	40,3	37,7
95 % CI [ms]	36,4	22,2	16,6	14,1	34,0	39,3	31,1
	-	-	-	-	-	-	-
	59,1	38,4	29,2	23,8	55,1	48,6	49,1

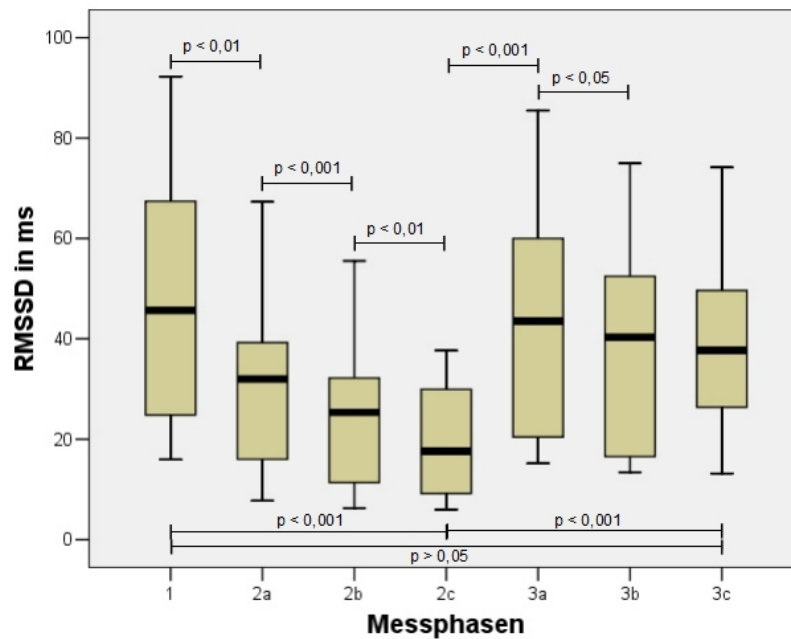


Abbildung 4.5: Verlauf der Variabilität der RR-Intervalle (RMSSD) während der Messphasen; (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhephase (3a-3c)); Signifikanzangaben der Werteentwicklungen; $n = 21$

4.4 Herzeratenvariabilitätsparameter der Frequenzbereichsanalyse

4.4.1 Hoch- und niedrigfrequente Anteile des Gesamtfrequenzspektrums der Herzrate

In der Vorruhephase (1) waren die prozentualen Anteile von LF (%) und HF (%) am Gesamtspektrum der HRV annähernd gleich.

In der Torfbreibadphase (2a) stieg der Anteil der LF (%) signifikant an, und dementsprechend sank der Anteil der HF (%) signifikant ab. Im ersten Abschnitt der Nachruhephase (3a) fiel der Anteil der LF (%) signifikant ab und der Anteil der HF (%) stieg dementsprechend signifikant an. Beim Übergang von der Messphase 3b zur Messphase 3c fiel die mittlere HF (%) signifikant ab. Der Medianwert der HF (%) entwickelte sich im Vergleich zum Mittelwert gegensätzlich. Den Ergebnissen des Wilcoxon-Tests ist jedoch zu entnehmen, dass sich die Signifikanzangabe auf die fallende HF (%) bezieht. Am Ende der Nachruhephase (3c) wurden die Werte der Vorruhephase (1) wieder erreicht (Tabelle 4-7, Tabelle 4-8, Abbildung 4.6, Abbildung 4.7).

Tabelle 4-7: Verlauf des prozentualen Anteils der LF (%) am Gesamtspektrum der HR während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhephase (3a-3c)); \bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung); \tilde{x} = Median; 95 % CI = 95 % Konfidenzintervall; $n = 21$

Parameter / Messphase	1	2a	2b	2c	3a	3b	3c
\bar{x} [%]	45,5	51,1	51,3	53,0	43,6	44,2	48,0
σ [%]	16,6	15,5	15,7	12,3	18,3	17,9	17,0
\tilde{x} [%]	44,3	48,3	49,8	52,0	35,5	45,5	43,3
95 % CI [%]	37,9	44,1	44,1	47,4	35,3	36,1	40,3
	-	-	-	-	-	-	-
	53,0	58,2	58,5	58,6	52,0	52,3	55,8

Tabelle 4-8: Verlauf des prozentualen Anteils der HF (%) am Gesamtspektrum der HRV während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhephase (3a-3c)); \bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung); \tilde{x} = Median; 95 % CI = 95 % Konfidenzintervall; $n = 21$

Parameter / Messphase	1	2a	2b	2c	3a	3b	3c
\bar{x} [%]	46,1	36,1	33,7	29,7	46,9	46,8	41,5
σ [%]	18,2	17,8	18,3	16,3	19,6	21,1	19,8
\tilde{x} [%]	48,7	42,3	34,1	28,8	53,4	44,4	46,2
95 % CI [%]	37,8	28,0	25,3	22,2	38,0	37,2	32,5
	-	-	-	-	-	-	-
	54,3	44,2	42,0	37,1	55,9	56,4	50,5

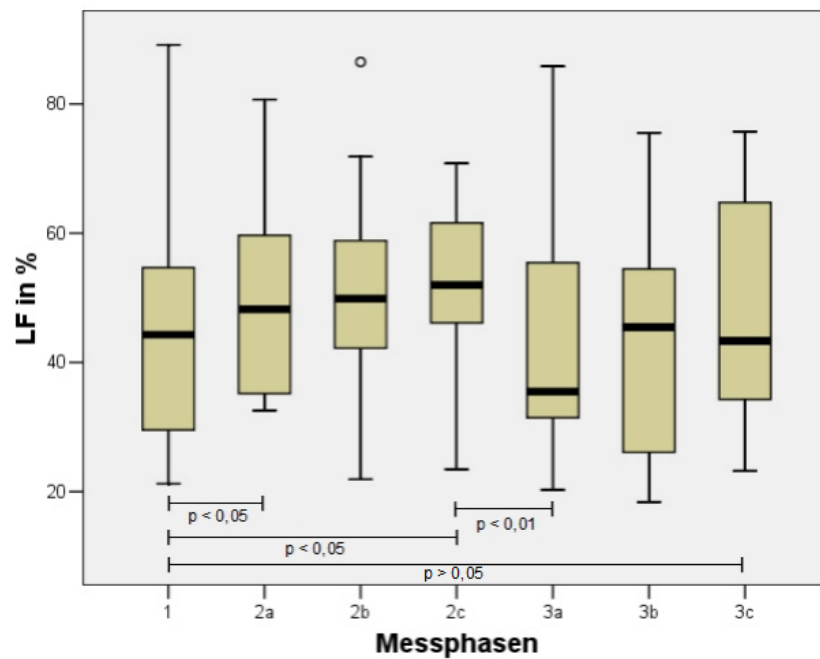


Abbildung 4.6: Verlauf des niedrigfrequenten Anteils (LF %) der Herzrate während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a - 2c), Nachruhephase (3a - 3c)); Signifikanzangaben der Werteentwicklungen; $n = 21$; ° = Ausreißer

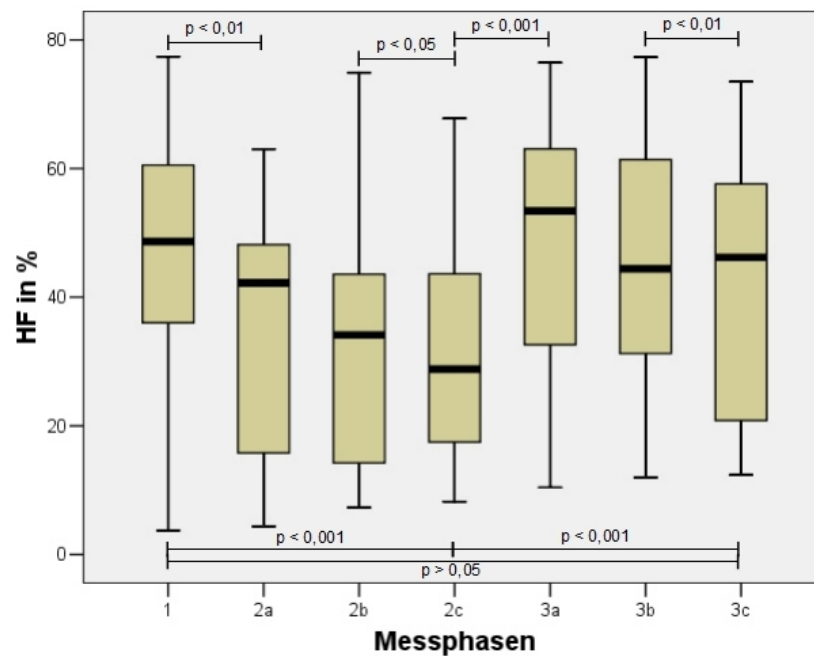


Abbildung 4.7: Verlauf des hochfrequenten Anteils (HF %) der Herzrate während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a - 2c), Nachruhephase (3a - 3c)); Signifikanzangaben der Werteentwicklungen; $n = 21$

4.4.2 Verhältnis zwischen niedrigen und hohen Frequenzbereichen (LF/HF)

Während des Bades (2a) stieg LF/HF signifikant an und änderte sich in dieser Phase nicht weiter. LF/HF sank signifikant zu Beginn der Nachruhephase (3a) und stieg in der Phase (3c) signifikant an. Der Medianwert von LF/HF (3b-3c) entwickelte sich im Vergleich zum Mittelwert (3b-3c) gegensätzlich. Den Ergebnissen des Wilcoxon-Tests ist jedoch zu entnehmen, dass sich die Signifikanzangabe auf den steigenden LF/HF - Wert bezieht. LF/HF (3c) unterschied sich nicht vom Basiswert (1) (Abbildung 4.8, Tabelle 4-9).

Tabelle 4-9: Verlauf von LF/HF während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhephase (3a-3c)); \bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung); \tilde{x} = Median; 95 % CI = 95 % Konfidenzintervall; $n = 21$

Parameter / Messphase	1	2a	2b	2c	3a	3b	3c
\bar{x}	1,11	2,0	2,2	2,6	1,2	1,3	1,7
σ	0,7	1,8	1,8	2,0	1,2	1,4	1,6
\tilde{x}	0,9	1,2	1,5	1,6	0,6	1,0	0,9
95 % CI	0,8	1,2	1,3	1,6	0,7	0,7	1,0
	-	-	-	-	-	-	-
	1,5	2,8	3,0	3,5	1,8	2,0	2,5

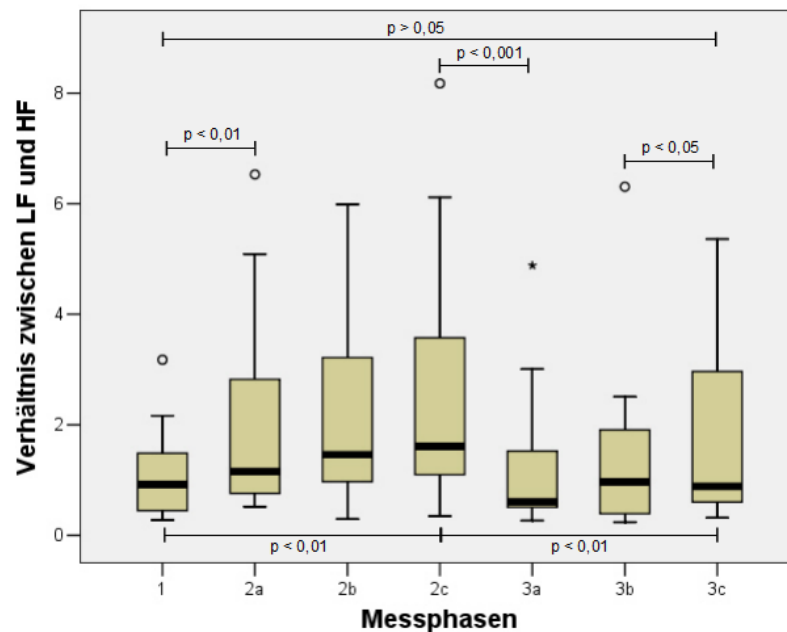


Abbildung 4.8: Verlauf von LF/HF während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhephase (3a-3c)); Signifikanzangaben der Werteentwicklungen; $n = 21$; $^{\circ}$ = Ausreißer; * = Extremwert

4.5 Psychologische Fragebögen

4.5.1 Ergebnisse der Auswertung des MDBF-A

Der MDBF-A erwies sich, wie in der Testbeschreibung angegeben, als schnell zu bearbeitender und leicht auszuwertender Fragebogen. Fehler beim Ausfüllen des Testes durch die Probandinnen traten nicht auf. Alle Fragebögen wurden vollständig bearbeitet abgegeben.

GS - Skala:

Die Werte für die Items „zufrieden“ und „gut“ der GS - Skala (Gute - Schlechte Stimmung) stiegen nach dem Torfbreibad signifikant an, der Wert des Items „schlecht“ änderte sich nicht signifikant und der Wert des Items „unwohl“ fiel signifikant (Tabelle 4-10).

Tabelle 4-10: Ausprägungen der GS - Skala - Items während der beiden Befragungen t_1 und t_2 ; \bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung); \tilde{x} = Median; 95 % CI = 95 % Konfidenzintervall; Signifikanzangaben beziehen sich auf Veränderungen zwischen Befragung t_1 und t_2 (: $p < 0,05$;*

****: $p < 0,001$); $n = 21$*

Items / Parameter	\bar{x}	σ	\tilde{x}	95 % CI
zufrieden t_1	3,6	0,5	4,0	3,4 - 3,9
zufrieden t_2	4,5 ***	0,6	5,0	4,2 - 4,8
schlecht t_1	1,4	0,9	1,0	1,0 - 1,8
schlecht t_2	1,1	0,2	1,0	1,0 - 1,2
gut t_1	4,1	0,6	4,0	3,8 - 4,3
gut t_2	4,5 *	0,7	5,0	4,2 - 4,8
unwohl t_1	1,3	0,6	1,0	1,1 - 1,6
unwohl t_2	1,0 *	0,0	1,0	-

WM - Skala:

Die Werte beider positiver Parameter der WM - Skala (Wachheit - Müdigkeit) nahmen zu. Dabei änderte sich lediglich die Ausprägung des Items „ausgeruht“ signifikant. Die Werte der negativ gepolten Items nahmen nicht signifikant ab (Tabelle 4-11).

Tabelle 4-11: Ausprägungen der WM-Skala-Items während der beiden Befragungen t_1 und t_2 ; \bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung); \tilde{x} = Median; 95 % CI = 95 % Konfidenzintervall; Signifikanzangaben beziehen sich auf Veränderungen zwischen Befragung t_1 und t_2 (***: $p < 0,001$); $n = 21$

Items / Parameter	\bar{x}	σ	\tilde{x}	95 % CI
ausgeruht t_1	3,2	0,7	3,0	2,9-3,6
ausgeruht t_2	4,4 ***	0,7	4,0	4,1-4,7
schlapp t_1	1,8	0,8	2,0	1,4-2,2
schlapp t_2	2,3	1,1	2,0	1,9-2,8
müde t_1	2,2	0,8	2,0	1,9-2,5
müde t_2	2,5	1,0	2,0	2,0-3,0
munter t_1	3,5	0,8	4,0	3,1-3,9
munter t_2	3,1	0,7	3,0	2,9-3,5

RU-Skala:

Die Parameter der RU-Skala (Ruhe-Unruhe) „gelassen“ und „entspannt“ stiegen jeweils signifikant an. Die Werte für „ruhelos“ und „unruhig“ sanken signifikant ab (Tabelle 4-12).

Tabelle 4-12: Ausprägungen der RU-Skala-Items während der beiden Befragungen t_1 und t_2 ; \bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung); \tilde{x} = Median; 95 % CI = 95 % Konfidenzintervall; Signifikanzangaben beziehen sich auf Veränderungen zwischen Befragung t_1 und t_2 (*: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$); $n = 21$

Items / Parameter	\bar{x}	σ	\tilde{x}	95 % CI
ruhelos t_1	2,0	1,0	2,0	1,6-2,6
ruhelos t_2	1,2 **	0,5	1,0	1,0-1,5
gelassen t_1	3,5	0,8	4,0	3,2-3,9
gelassen t_2	4,4 ***	0,8	5,0	4,1-4,8
unruhig t_1	1,9	0,9	2,0	1,5-2,3
unruhig t_2	1,2 *	0,5	1,0	1,0-1,5
entspannt t_1	3,3	0,7	3,0	3,0-3,6
entspannt t_2	4,6 ***	0,7	5,0	4,3-4,9

Die Werte der GS-Skala und der RU-Skala stiegen signifikant an. Die Ausprägung der Werte der WM-Skala erhöhten sich sehr signifikant (Tabelle 4-12).

Tabelle 4-13: Ausprägungen der MDBF - A - Skalen während der beiden Befragungen t_1 und t_2 ; \bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung); \tilde{x} = Median; 95 % CI = 95 % Konfidenzintervall; Signifikanzangaben beziehen sich auf Veränderungen zwischen Befragung t_1 und t_2 (: $p < 0,05$;*

***.: $p < 0,01$); $n = 21$*

Skalen / Parameter	\bar{x}	σ	\tilde{x}	95 % CI
GS-Skala t_1	10,4	1,1	10,0	9,9 - 10,9
GS-Skala t_2	11,0 *	1,0	11,0	10,6 - 11,4
WM-Skala t_1	10,7	1,4	11,0	10,1 - 11,4
WM-Skala t_2	12,4 **	1,5	13,0	11,7 - 13,1
RU-Skala t_1	10,8	1,5	11,0	10,1 - 11,4
RU-Skala t_2	11,5 *	1,0	12,0	11,1 - 12,0

4.5.2 Ergebnisse der Auswertung des Mainzer-Stimmungsfragebogens

Der *MStF-K* konnte in der veranschlagten Zeit von 2-3 Minute ausgefüllt werden. Alle Tests wurden fehlerfrei und vollständig ausgefüllt.

ÄGS - Skala:

Die Parameterwerte der Skala ängstlich-gedrückte Stimmung (ÄGS) sanken nur geringfügig. Lediglich die Werte des Items „besorgt“ fielen signifikant ab (Tabelle 4-14). Für die Items „ängstlich“, „bang“, „hilflos“ und „verzweifelt“ im Rahmen der zweiten Befragung konnten keine 95 % Konfidenzintervalle angegeben werden, da alle Frauen den Items den Wert „1“ zuordneten.

Tabelle 4-14: Ausprägungen der ÄGS-Skala-Items während der beiden Befragungen t_1 und t_2 ; \bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung); \tilde{x} = Median; 95% CI = 95% Konfidenzintervall; Signifikanzangaben beziehen sich auf Veränderungen zwischen Befragung t_1 und t_2 (*: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$); $n = 21$

Items / Parameter	\bar{x}	σ	\tilde{x}	95 % CI
besorgt t_1	1,7	0,8	2,0	1,4 - 2,1
besorgt t_2	1,1 *	0,4	1,0	1,0 - 1,3
ängstlich t_1	1,1	0,3	1,0	1,0 - 1,2
ängstlich t_2	1,0	0,0	1,0	-
bang t_1	1,1	0,4	1,0	1,0 - 1,3
bang t_2	1,0	0,0	1,0	-
hilfflos t_1	1,1	0,2	1,0	1,0 - 1,2
hilfflos t_2	1,0	0,0	1,0	-
verzweifelt t_1	1,1	0,2	1,0	1,0 - 1,2
verzweifelt t_2	1,0	0,0	1,0	-

MOS-Skala:

Bis auf die unveränderten Werte für „übellaunig“ waren die Werte der MOS-Skala (moro-se Stimmung) bei der zweiten Befragung im Trend niedriger. Lediglich die Änderung des Items „gereizt“ war signifikant (Tabelle 4-15).

Tabelle 4-15: Ausprägungen der MOS-Skala-Items während der beiden Befragungen t_1 und t_2 ; \bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung); \tilde{x} = Median; 95% CI = 95% Konfidenzintervall; Signifikanzangaben beziehen sich auf Veränderungen zwischen Befragung t_1 und t_2 (*: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$); $n = 21$

Items / Parameter	\bar{x}	σ	\tilde{x}	95 % CI
gereizt t_1	1,2	0,4	1,0	1,0 - 1,4
gereizt t_2	1,1 *	0,2	1,0	1,0 - 1,2
grantig t_1	1,2	0,5	1,0	1,0 - 1,4
grantig t_2	1,1	0,2	1,0	1,0 - 1,2
mürrisch t_1	1,2	0,5	1,0	1,0 - 1,4
mürrisch t_2	1,1	0,2	1,0	1,0 - 1,2
übellaunig t_1	1,1	0,4	1,0	1,0 - 1,3
übellaunig t_2	1,1	0,5	1,0	1,0 - 1,4
missgelaunt t_1	1,1	0,4	1,0	1,0 - 1,3
missgelaunt t_2	1,1	0,2	1,0	1,0 - 1,2

GHS - Skala:

Bei der Befragung nach der zweiten Ruhephase ergaben sich für alle Items der GHS - Skala (gehobene Stimmung) höhere Werte. Signifikant waren die Anstiege für die Items „gutgelaunt“ und „frohgemut“ (Tabelle 4-16).

Tabelle 4-16: Ausprägungen der GHS - Skala-Items während der beiden Befragungen t_1 und t_2 ; \bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung); \tilde{x} = Median; 95% CI = 95% Konfidenzintervall; Signifikanzangaben beziehen sich auf Veränderungen zwischen Befragung t_1 und t_2 (: $p < 0,05$;*

***.: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$); $n = 21$*

Items / Parameter	\bar{x}	σ	\tilde{x}	95 % CI
gutgelaunt t_1	3,8	0,4	4,0	3,6 - 4,0
gutgelaunt t_2	4,1 *	0,4	4,0	3,9 - 4,2
fröhlich t_1	3,5	0,5	3,0	3,2 - 3,7
fröhlich t_2	3,7	0,5	4,0	3,5 - 3,9
vergnügt t_1	3,1	0,7	3,0	2,8 - 3,4
vergnügt t_2	3,3	1,0	3,0	2,9 - 3,7
fidel t_1	3,2	0,8	3,0	2,9 - 3,6
fidel t_2	3,0	1,1	3,0	2,5 - 3,4
frohgemut t_1	3,4	0,8	4,0	3,0 - 3,8
frohgemut t_2	4,0	0,9	4,0	3,6 - 4,4

Die hoch signifikante Senkung der Werte für die ÄGS-Skala steht den nicht signifikanten Änderungen der MOS- und GHS-Skala gegenüber (Tabelle 4-17).

Tabelle 4-17: Ausprägungen der MStF-K-Skalen während der beiden Befragungen t_1 und t_2 ; \bar{x} (Mittelwert) $\pm \sigma$ (Standardabweichung); \tilde{x} = Median; 95% CI = 95% Konfidenzintervall; Signifikanzangaben beziehen sich auf Veränderungen zwischen Befragung t_1 und t_2 (: $p < 0,05$;*

***.: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$); $n = 21$*

Skalen / Parameter	\bar{x}	σ	\tilde{x}	95 % CI
ÄGS-Skala t_1	1,2	0,3	1,2	1,1 - 1,3
ÄGS-Skala t_2	1,0 **	0,1	1,0	1,0 - 1,1
MOS-Skala t_1	1,2	0,4	1,0	1,0 - 1,4
MOS-Skala t_2	1,1	0,2	1,0	1,0 - 1,2
GHS-Skala t_1	3,4	0,5	3,4	3,2 - 3,6
GHS-Skala t_2	3,6	0,5	3,6	3,4 - 3,8

5 Diskussion

5.1 Materialien und Methoden

5.1.1 Fallzahl

Die Studie wurde als Pilotstudie geplant. Sie diene der Erprobung des technischen Ablaufes, der Messmethoden sowie der Abschätzung der Beeinflussung des vegetativen Nervensystems, der Befindlichkeit und der Stimmung durch das Torfbreibad. Da es sich um eine typische Machbarkeitsstudie handelt, war nur eine geringe Fallzahl erforderlich. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit ist Grundlage für weiterführende Studien mit größeren Probandenzahlen.

5.1.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Anhand einer repräsentativen Stichprobe von 2722 analysierten Datensätzen wurde in der Framingham-Studie aus dem Jahre 1996 belegt, dass Lebensalter und Ruhe-HR für bis zu 51 % der gesamten interindividuellen Variabilität der HRV verantwortlich sind. Die Einflüsse von Geschlecht, Gewicht, Ausdauerleistung und bestimmten Erkrankungen waren im Vergleich dazu gering [146]. In der vorliegenden Studie waren die Altersspanne mit 20-50 Jahre und die Spanne der Ruhe-HR mit 51-84 bpm relativ groß. Dies dürfte eine Ursache für die vereinzelt großen Schwankungen der HRV-Parameter gewesen sein. Durch eine geringere Alters- und Ruheherzraten-spanne würde die interindividuelle Variabilität reduziert werden und Einflüsse auf die HRV könnten genauer untersucht werden [57, 74, 92]. Durch dieses Vorgehen wird allerdings die Generalisierbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt.

Etliche Studienautoren befürworten jedoch die Geschlechtertrennung bei der HRV-Auswertung (Kapitel 2.2.5). Auf Grundlage ihrer Empfehlungen wurden in vorliegende Studie nur Frauen eingeschlossen.

Die Ausschlusskriterien (Kapitel 3.1) wurden erstellt, da sie nachweislich die HRV erheblich modulieren können (Kapitel 2.2.10). So konnte der Einfluss anderer externer Faktoren außerhalb des Torfbreibades während der vorliegenden Studie reduziert werden.

5.1.3 Untersuchungsablauf

Aufgrund der tageszeitabhängigen HRV-Schwankung (Kapitel 2.2.7) und zur Minderung der Störfaktoren, wurden die Daten in der Mittagspause der Badeabteilung jeweils zwischen 11:50 Uhr und 13:20 Uhr erhoben.

Der Ablauf der Untersuchung entsprach dem Vorgehen bei Torfbreibädern zu Therapie-zwecken.

Die Körperpositionen während des Bades und während der Vorruhephasen und die Länge dieser Phasen stimmten mit denen unter Praxisbedingungen überein. Die Einstellung der Ruheliege gewährleistete eine Position, die der in der Torfbreiwanne entsprach. Dies ist von Bedeutung, da die HRV von der Körperhaltung abhängig ist [63].

Im Vergleich zum therapeutischen Torfbreibad waren in der aktuellen Untersuchung die Unterarme, die Handgelenke und die Hände der Probandinnen nicht vom Torfbrei bedeckt, um die Elektroden trocken zu halten. Nach der Neunerregel (9 % Unterarme und 2 x 2 % Hände) standen damit ca. 13 % der Körperoberfläche zusätzlich für die Wärmeabgabe zur Verfügung [64]. Diese Abweichungen mussten jedoch im Hinblick auf die Durchführbarkeit der Studie in Kauf genommen werden.

Durch das Abduschen der Probandinnen nach dem Bad wurde eine lückenlose Datenerhebung verhindert. Da sich die Patienten nach einem therapeutischen Torfbreibad ebenfalls abduschen, entsprach das Vorgehen jedoch der üblichen Praxis. Eine technische Möglichkeit der EKG-Ableitung während der Duschphase für zukünftige Studien wird im Abschnitt 5.1.4 beschrieben.

Abgesehen von Problemen bei der EKG-Registrierung (Kapitel 5.1.4) traten keine Zwischenfälle bzw. Abbrüche der Datenerhebungen auf. Keine der Probandinnen klagte über für Torfbreibäder typische Wirkungen wie orthostatische Dysregulation oder über andere unerwünschte Wirkungen.

5.1.4 Datenregistrierung und Datenverarbeitung

Aufgrund unvollständiger Datenerfassung mussten die Daten von sechs Probandinnen (22 % der gesamten Probandinnen) im Nachhinein ausgeschlossen werden.

Da während der EKG-Registrierung mit dem EKG-Langzeit-Rekorder „Syneflash“ der Firma Ela medical® (SORIN GROUP, München, Deutschland) die optische Anzeige der Herzaktion nach wenigen Minuten erlosch, konnte im weiteren Verlauf der Messung nicht kontrolliert werden, ob die Elektroden einwandfrei befestigt waren. Die Probandinnen schwitzten regelmäßig während des Bades und so lösten sich mitunter mehrere Klebekontakte unbemerkt, sodass trotz zweikanaliger Ableitung eine weitere Datenaufzeichnung nicht mehr möglich war.

Für zukünftige Messungen sollte deshalb ein Gerät gewählt werden, auf dessen Display kontinuierlich die Messung kontrolliert werden kann bzw. dessen Elektroden trotz Schweißentwicklung besser am Körper haften. Außerdem ist es ratsam, die Hautpartien auf denen die Klebelektroden befestigt werden, zu rasieren, um ein besseres Haften zu bewirken. Des Weiteren könnten die Elektroden mithilfe breiter Bänder zusätzlich fixiert werden.

Grothe et al. führten HRV-Messungen im thermoneutralen Wasserbad durch und benutzten dafür das HRV-Messsystem S810 (Firma Polar). Über einen Brustgurt (Sender) wurden die HR registriert und in einer Armbanduhr (Empfänger) der Probandin gespeichert. Über eine Infrarot-Schnittstelle und mit Hilfe der Polar ProTrainer Software wurden die Daten auf den Computer übertragen und dort mit einer Software (Polar-Precision-Performance 4.0) ausgewertet [58]. Die Anwendung des Empfängers wird bei Umgebungstemperaturen von -10°C bis $+50^{\circ}\text{C}$ empfohlen und ist auch im Wasser möglich. Auch der Sender ist für Messungen im Wasser geeignet und laut Herstellerangaben bei Umgebungstemperaturen zwischen -10°C bis $+40^{\circ}\text{C}$ einsetzbar [9]. Die Pulsuhr der Serie RCX5 ist eines der aktuellen (2011) und hochwertigen Produkte der Firma Polar, welche mit dem entsprechenden Brustgurt Polar WearLink® + Hybrid Sensor ebenfalls im Wasser und bei Temperaturen zwischen -10°C und $+40^{\circ}\text{C}$ verwendet werden kann [11]. Es ist jedoch nicht bekannt, dass bisher Messungen mit diesen Systemen während des Torfbreibades durchgeführt wurden. Da Torfbreibäder mit Temperaturen zwischen 39°C - 45°C appliziert werden, ist eine fehlerfreie Datenerfassung nicht garantiert bzw. sind wärmebedingte Sensorschäden möglich. Bei der HR-Registrierung mit Hilfe des Brustgurtes kämen die Studienbedingungen denen in der Praxis noch näher als die der vorliegenden Studie, da sich auch die distalen Unterarme, Handgelenke und Hände der Probanden im Torfbrei befinden würden. Außerdem ließen sich so die Fehlerquellen, die unter anderem durch ein falsches Anlegen der Elektroden oder Ablösen der Elektroden durch Schweißentwicklung entstehen, vermindern. Nachteilig bei der Messung mit dem Brustgurt ist, dass nicht das EKG aufgezeichnet wird, sondern nur die HR registriert wird. Für die alleinige Analyse der HR und der HRV ist dies jedoch ausreichend.

In seltenen Fällen könnten bei der HR-Registrierung mit dem Brustgurt Probleme auftreten, da bei pathologischen Lagetypen des Herzens wie z. B. überdrehter Rechts- oder Linkstyp der relevante Herzvektor zu gering oder gar nicht messbar wäre.

Infolge des Duschens nach der Torfbreibadphase war keine lückenlose EKG-Aufzeichnung möglich, da die Elektroden nicht mit Wasser in Berührung kommen durften. Die Parameterausprägungen zu Beginn der Nachruhephase spiegeln nicht nur den Einfluss des Torfbreibades wider, sondern auch die Beanspruchung während des Duschens, des Abtrocknens und des Hinlegens auf die Liege. Die genannten Schritte werden auch nach therapeutischen Torfbreibädern durchgeführt. Daher entsprechen die Parameterwerte zu Beginn der Nachruhephase denen der realen balneotherapeutischen Praxis. Durch die HR-Aufzeichnung mit einem Brustgurt bestünde die Möglichkeit, die Datenerfassung pausenlos durchzuführen.

Die in der Untersuchung verwendete Software („Software for advanced HRV analysis“) zur Berechnung der HRV erwies sich als gut geeignet und lieferte in kurzer Zeit die wesentlichen Ergebnisse übersichtlich auf einer Seite (Abbildung 3.4) [110].

5.1.5 Praktikabilität der psychologischen Fragebögen

Mit der *Kurzform des MDBF* liegt ein psychologischer Fragebogen vor, dessen Gütekriterien umfangreich untersucht wurden und der bereits in zahlreichen Studien angewendet wurde ([54], [137], [140]). Der MDBF-A erwies sich, wie in der Testbeschreibung angegeben, als schnell zu bearbeitender und leicht auszuwertender Fragebogen.

Der *MStF-K* wurde in der veranschlagten Zeit von 2-3 Minuten von allen Probandinnen fehlerfrei und vollständig ausgefüllt und ließ sich ebenfalls leicht auswerten. Zur Validität des Fragebogens sind zwar noch keine Angaben erhältlich, aber er wurde bereits in mehreren Studien mit insgesamt 313 Probanden und Probandinnen angewendet [51, 52]. Dadurch sind Vergleiche möglich. Die Items wurden von mir als zutreffend für die vorliegende Studie eingeschätzt.

5.2 HR- und der HRV-Änderungen in der Vorruhephase

Zur Messung der kardiovaskulären Belastung wurden die HR und die HRV erfasst, die vordergründig durch die Aktivität des vegetativen Nervensystems bestimmt werden (Kapitel 2.2.4) [47]. Deshalb sind Rückschlüsse auf dessen Aktivität möglich.

Die Probandinnen hatten in der Vorruhephase eine mittlere HR von 67,3 bpm (\tilde{x} = 69,1 bpm). Dieser Wert entspricht einer normalen Ruheherzrate erwachsener Frauen (60-70 bpm) [126].

Die fehlenden Unterschiede zwischen den Altersgruppen (20-30 Jahre versus 31-50 Jahre) sind ein Zeichen dafür, dass das Alter keinen Einfluss auf die Ausprägung der Ruheherzrate der Probandinnen hatte. Diese Erkenntnis darf jedoch wegen der geringen Fallzahl in beiden Gruppen nicht verallgemeinert werden, zumal nur anamnestisch herzgesunde Frauen an der Studie teilnahmen.

Zur Beurteilung der HRV-Messwerte vorliegender Studie sollen Ergebnisse vergleichbarer Untersuchungen und Kollektive herangezogen werden.

Kuo et al. untersuchten unter Ruhebedingungen die HRV von 68 gesunden liegenden Frauen im Alter zwischen 40-44 Jahren. Es ergab sich eine durchschnittliche HF % von 32 % und eine durchschnittliche LF % von 50 % [92]. Gleichaltrige gesunde Männer ($n = 40$) wiesen unter denselben Bedingungen eine HF % von 26 % und eine LF % von 57 % auf [92]. Mueck-Weymann fand unter Ruhebedingungen eine HF % von 23,6 % und eine LF % von 36,5 % bei 43 liegenden gesunden männlichen Probanden ($23,3 \pm 3,5$ Jahre)[1].

Der Vergleich mit den mittleren Werten der aktuellen Studie (HF % = 46,1 %, (\tilde{x} = 48,7 %) LF % = 45,5 % (\tilde{x} = 44,3 %)) ergibt, dass der Anteil der HF % am Gesamtspektrum in dieser Studie höher ist als in den anderen genannten Untersuchungen. Dies dürfte als Ausdruck einer besonders ausgeprägten Parasympathikus -Aktivität bei den jüngeren Frauen im Vergleich zu den jüngeren Männern zu interpretieren sein [57, 74, 92].

In einer Studie mit 300 gesunden Frauen im durchschnittlichen Alter von 57,5 Jahren wurde ein Verhältnis zwischen LF und HF von 2,7 berechnet [68]. Nach Mueck-Weymann beträgt die internationale LF/HF Norm 1,5-2,0 [1]. Das LF/HF Verhältnis der jetzigen Studie in der Vorruhephase ist mit durchschnittlich 1,1 (\tilde{x} = 0,9) niedriger als der genannte Wert. Dies ist ein weiterer Hinweis auf eine ausgeprägte parasympathische Aktivität der Probandinnen.

Die RMSSD (\bar{x} = 47,75 ms; \tilde{x} = 45,7 ms) der vorliegenden Studie ist ähnlich hoch wie die RMSSD (40,17 ms) einer Studie mit gesunden Probandinnen ($22 \pm 2,52$ Jahre) [38].

Die RMSSD wurde in beiden Untersuchungen während einer Kurzzeitmessung unter Ruhebedingungen ermittelt. Bei der Untersuchung von Mueck-Weymann bei jungen Männern fand sich bei Kurzzeitmessungen unter Ruhebedingungen eine RMSSD von 51,7 ms [1]. Fenzl und Schlegel ermittelten im Rahmen einer Metaanalyse, in der unter anderem die Altersabhängigkeit von HRV-Parametern untersucht wurde, einen RMSSD - Wert von 43 ms bei 1594 Frauen und Männern im Altern von 27 Jahren [50].

Der Literaturvergleich zeigt, dass die dort aufgeführten HR und die HRV-Parameterwerte den jetzigen Messwerten sehr ähneln. Die geringen Unterschiede dürften durch die unterschiedlichen Ein- und Ausschlusskriterien und Versuchsbedingungen verursacht sein. Die Daten der Vorruhephase sind somit als Basiswerte für die Beurteilung der Veränderungen während des Torfbreibades bzw. während der zweiten Ruhephase geeignet.

Aus der niedrigen HR, dem niedrigen LF/HF Wert, der hohen RMSSD und dem hohen Anteil der HF am Gesamtspektrum kann insgesamt geschlossen werden, dass die Probandinnen der jetzigen Studie während der Vorruhephase unter einem sehr ausgeprägten vagalen Einfluss standen [47].

5.3 Beeinflussung des kardiovaskulären Systems durch das Torfbreibad

Folgende Einflussfaktoren wirkten während der Torfbreibadphase auf die Probandinnen:

- Thermophysikalische Wirkung des Torfbreies
- Immersionsdruck des Torfbreies
- biochemische Wirkung der Pelloide
- Umgebungstemperatur
- relative Luftfeuchtigkeit
- exogene Einflüsse (z. B. visuelle und akustische Reize)
- endogene Einflüsse (z. B. Befindlichkeit)

5.3.1 Einfluss der thermophysikalischen Wirkung des Torfbreibades auf die Herzrate

Die HR-Änderungen während des Torfbreibades können vor allem auf die thermophysikalische Wirkung des Torfbreies zurückgeführt werden [118].

In der vorliegenden Studie stieg die HR von der Messphase 1 (Basiswert) zur Phase 2a (erste Messphase während des Bades) im Mittel von $67,3 \pm 9,8$ bpm ($\tilde{x} = 62,9$ bpm) auf $77,5 \pm 10,6$ bpm ($\tilde{x} = 72,7$ bpm) ($p < 0,001$) an. Der signifikante Anstieg der HR setzte sich über die gesamten Torfbreibadphase fort. In der Messphase (2c) wurde eine mittlere HR von $88,4 \pm 10,8$ bpm ($\tilde{x} = 83,5$ bpm) erreicht.

Änderungen der HR infolge einer Belastung werden vor allem durch das ANS vermittelt. Sie weisen auf ein intaktes vegetatives Nervensystem hin, welches die wesentliche Voraussetzung für die Reaktionsfähigkeit des Körpers auf die Belastung durch das Torfbreibad ist [50, 82].

Geht man von einer maximalen HR der Probandinnen von im Mittel 198,5 bpm (berechnet mit der Formel: $HR_{\max} = 226 - \text{Alter [in Jahren]}$ [128]) entsprechend ihres durchschnittlichen Alters von 27,5 Jahren aus, beträgt die in Messphase 2c erreichte mittlere HR von 88,43 bpm 46 % der maximalen HR. Sie entspricht damit einer mittleren Belastung. Diese hat nach Kindermann et al. eine verringerte Parasympathikus -Aktivität und eine erhöhte Sympathikus -Aktivität zur Folge [86]. Der genannte Sachverhalt wird durch die Analyse der HRV - Parameter bestätigt, was in Kapitel 5.3.2 weiter ausgeführt werden soll.

HR-Daten, die während Warmwasserbädern (39°C - 41°C) ermittelt wurden, sollen nun mit den Daten der vorliegenden Arbeit verglichen werden (Abbildung 5.1).

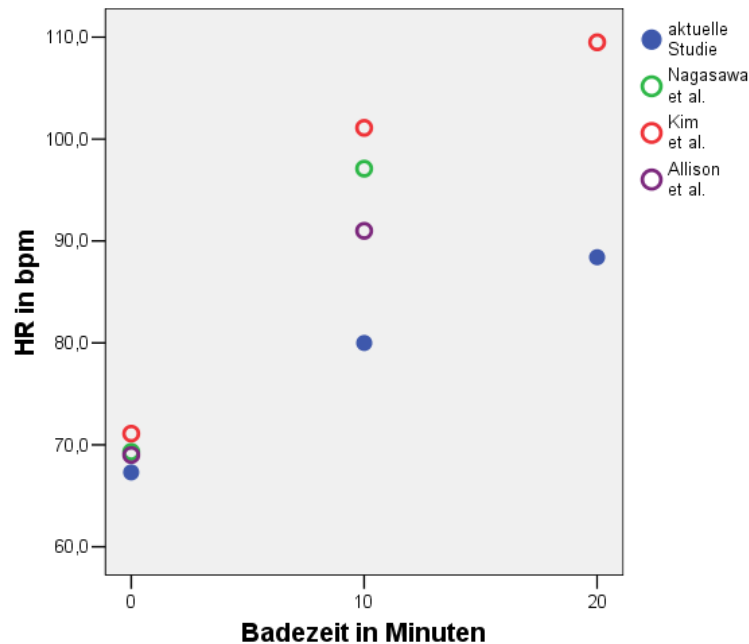


Abbildung 5.1: Vergleich des Verlaufes der HR der aktuellen Arbeit mit Studien, in denen der Einfluss von Warmwasserbädern auf die HR untersucht wurde [14, 84, 106]

Nagasawa et al. untersuchten die Wirkung warmen Wassers ($40,0^{\circ}\text{C}$) auf männliche Probanden ($n=9$; $27,4 \pm 9,6$ Jahre) und ermittelten ähnliche Veränderungen der HR beim Eintauchen wie in der aktuellen Studie. Die HR stieg nach 10-minütiger Immersion von $69,3 \pm 10,0$ bpm auf $97,1 \pm 14,9$ bpm ($p < 0,01$) an [106]. In einer weiteren Untersuchung durch Kim et al. erhöhte sich die HR von 13 gesunden Männern (20-27 Jahre) von $71,1 \pm 12,6$ bpm auf $101,1 \pm 20,6$ bpm ($p < 0,05$) während eines 10-minütigen Warmwasserbades (39°C - 41°C) [84]. Nach 20 min wurde eine HR von $109,5 \pm 20,4$ bpm ($p < 0,05$) ermittelt. Allison et al. zeigten, dass nach 10-minütigem Aufenthalt in 40°C warmem Wasser eines Whirlpools die HR der sechs teilnehmenden Männer (36-43 Jahre) von 69 bpm auf 91 bpm (p nicht angegeben) anstieg [14].

Nach Löllgen et al. steigt die HR unabhängig vom Fitnesszustand der Probanden linear zur Belastungsintensität an [96]. Deshalb kann aus dem Anstieg der HR (bei ähnlichen Ausgangswerten) auf die Belastungsintensität geschlossen werden. Betrachtet man die HR-Anstiege in unterschiedlichen Studien (Abbildung 5.1), fällt auf, dass die HR in der aktuellen Studie am wenigsten ansteigt. Damit ist die Belastungsintensität während des Torfbreibades im Vergleich zum Wasserbad ähnlicher Temperatur geringer, d. h. ein 39°C - 45°C warmes Torfbreibad über 20 Minuten ist wesentlich weniger belastend als ein Wasserbad gleicher Temperatur und Dauer.

Für ein Wasserbad der Temperatur 38 °C wird deshalb aufgrund der hohen kardiovaskulären Belastung eine maximale Badedauer von 10 Minuten und bei einer Temperatur von 41 °C eine maximale Badedauer von 5 Minuten empfohlen [83].

Die länger verträgliche Anwendungsdauer des Torfbreibades ist auf eine geringere Wärmeleitfähigkeit, eine größere Wärmekapazität und eine sehr eingeschränkte Konvektion im Torfbrei im Vergleich zum Wasser zurückzuführen (Kapitel 2.1.2) [119]. Bei gleicher Ausgangstemperatur kühlt der Torfbrei 5-15 mal langsamer ab als Wasser [120]. Nach zehnmütigem Baden im Torfbrei werden 1/6 und nach 20-minütigem Baden 1/12 der Wärme vom Medium auf den Körper des Badenden übertragen [41]. Lediglich beim Eintauchen in den Torfbrei fließt ein starker Wärmestrom in die Haut. Haben die hautnahen Moleküle des Torfbreies ihre höhere Schwingungsenergie auf die Haut übertragen (Konduktion), können sie erneut Wärme abgeben, wenn sie diese von eng benachbarten und später von weiter entfernten Molekülen aufgenommen haben. Liegt die Probandin bewegungslos, wie angeordnet, in der gefüllten Wanne, herrscht nahe der Körperoberfläche nach wenigen Minuten eine geringere Temperatur als im Rest der Wanne, da die Energieübertragung durch Konvektion aufgrund der hohen Viskosität des Torfbreies sehr eingeschränkt ist. Der Energietransport erfolgt fast ausschließlich über Konduktion. Die daraus folgende langsamere Erwärmung des Körpers während des Torfbreibades ist schonender als im Wasserbad. Die Probanden tolerieren deshalb eine längere Badezeit (20 min) und höhere Temperaturen (45 °C) des Torfbreies als des warmen Wassers (10 min; 39 °C). Dadurch kann dem Körper bis zu sieben mal mehr Wärme als im Wasserbad gleicher Temperatur zugeführt werden [108]. Das Torfbreibad ist somit zur Erzeugung einer milden Hyperthermie geeigneter als ein warmes Wasserbad [41, 79].

Der Blutdruck wurde in der vorliegenden Arbeit nicht erfasst, da sein Verhalten im Torfbreibad bei gesunden jungen Probanden bekannt ist [108]. In mehreren Studien mit ähnlicher Fragestellung stimmten die Blutdruckveränderungen im Verlauf einer Wärmeanwendung weitgehend überein. Während eines 10-minütigen Wasserbades (40 °C) fiel der Blutdruck von 115/65 mm Hg auf 85/35 mm Hg ($p < 0,01$) [106]. Ähnliche Veränderungen wurden während eines 24-minütigen Warmwasserbades bei 39 °C registriert [21]. Pratzel beschrieb, dass der Blutdruck auch während des Torfbreibades sinkt [118]. Während einer 30-60-minütigen Hyperthermiebehandlung mit Infrarot-A-Ganzkörperbestrahlung sank der Blutdruck ebenfalls signifikant ab [100].

Der Blutdruckabfall ist die Folge der durch die Hyperthermie ausgelösten peripheren Vasodilatation. Die kompensatorische Steigerung des HZV durch den HR-Anstieg reicht nicht aus, um das Blutdruckniveau konstant zu halten.

Es kann aufgrund dieser Datenlage davon ausgegangen werden, dass es in der aktuellen Untersuchung zu einem Abfall des systolischen und diastolischen Blutdruckes während des Torfbreibades gekommen ist und dass die Werte in der Nachruhephase wieder anstiegen.

Orientierend wurde eine altersabhängige Untersuchung der HR-Beeinflussung durch das Torfbreibad vorgenommen. In diesem Rahmen konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ausprägungen in den einzelnen Phasen der beiden Altersgruppen festgestellt werden (Kapitel 4.3.1). Daraus kann geschlossen werden, dass die Altersdifferenz von 29 Jahren bei den untersuchten Probandinnen keinen Einfluss auf die HR hatte. Diese Erkenntnisse können wegen der geringen Probandinnenzahl jedoch nicht generalisiert werden.

5.3.2 Einfluss der thermophysikalischen Wirkung des Torfbreibades auf die Herzratenvariabilität

Beim Übergang von der Vorruhephase zur ersten Teilphase des Torfbreibades (2a) verminderte sich der Anteil der HF (%) am Gesamtspektrum der HRV ($p < 0,01$). Gleichzeitig erhöhten sich der Anteil der LF (%) am Gesamtspektrum ($p < 0,05$) und der Quotient LF/HF ($p < 0,01$) (Kapitel 4). Diese Veränderungen spiegeln die Belastung durch das Torfbreibad wider. Sie bilden eine Aktivierung des Sympathikus und eine Aktivitätsminderung des Parasympathikus durch Temperaturerhöhung infolge Wärmeübertragung ab [112].

Im weiteren Verlauf waren die Veränderungen von LF/HF und LF % weder nach 13,3 Minuten (Messphase 2b) noch nach 20 Minuten (Messphase 2c) Badezeit signifikant gegenüber der vorangegangenen Messphase. Lediglich die RMSSD-Abnahme nach 13,3 Minuten und nach 20 Minuten und das Absinken der HF % nach 20 Minuten während des Torfbreibades waren signifikant. Diese Veränderungen sind mit einer weiteren Abnahme der parasympathischen Aktivität vereinbar. Dass keine signifikanten Änderungen des LF-Anteils während des Torfbreibades eintraten, ist als Korrelat zu einem nur geringfügigen Anstieg der Belastung durch das Torfbreibad im Zeitverlauf zu werten [86]. Dieser Sachverhalt wird durch den gleichzeitigen moderaten HR-Anstieg (Kapitel 5.3.1) unterstrichen.

Zusammenfassend stellt ein 20-minütiges 40,5 °C warmes Torfbreibad für gesunde junge Probandinnen zu Beginn der Intervention eine mittelgradige kardiovaskuläre Beanspruchung dar. Die Beanspruchung steigt während des Bades an und führt im Verlauf zu einer moderaten Aktivitätsänderung des ANS im Sinne einer Aktivitätsminderung des Parasympathikus. Ein „steady state“ der ANS-Aktivität stellte sich nicht ein, was die Adaptationsfähigkeit der Probandinnen an die Belastung durch das Torfbreibad unterstreicht. Diese Ergebnisse stützen die empirische Vorstellung, dass das Torfbreibad eine schonende Form der milden Hyperthermie darstellt [79]. Eine kontinuierliche Registrierung der HRV und eine unmittelbare Auswertung bieten daher die Möglichkeit, die Reaktionsfähigkeit

des ANS während des Torfbreibades zu beurteilen. Bei einem ausbleibendem Abfall der HRV und damit Einstellung eines „steady states“ könnte die Therapie vorzeitig abgebrochen werden, um einer schweren Kreislaufdysregulation des Badenden zuvorzukommen. Die Sicherheit dieser weitverbreiteten Rehamaßnahme könnte so erhöht werden. Dies sollte in weiterführenden Studien untersucht werden.

Die Veränderungen der HRV-Parameter während des Torfbreibades können mit Werten, welche während des Badens in warmem Wasser ermittelt wurden, verglichen werden. Nagasawa et al. beobachteten einen geringen, aber nicht signifikanten Anstieg von LF/HF von 1,1 auf 1,7 nach einem 10-minütigem Wasserbad (40 °C) [106]. Auch Kim et al. konnten nach 10-minütigem Wasserbad bei 39 °C - 41 °C keinen signifikanten Anstieg von LF/HF erfassen [84]. LF %, HF % und RMSSD veränderten sich ebenfalls nicht. Nach 20-minütiger Badezeit wurde der Anstieg der LF/HF von $0,9 \pm 0,4$ auf $1,3 \pm 0,7$ zwar signifikant ($p < 0,03$), LF %, HF % und RMSSD blieben jedoch unverändert [84]. Daraus kann nicht auf eine Veränderung der ANS-Aktivität geschlossen werden. Die HR stieg jedoch während des Warmwasserbades erheblich [106, 84]. Da ein HR-Anstieg im Zuge einer Belastung vor allem durch eine ANS-Aktivitätsänderung vermittelt wird, wäre im Rahmen des Wasserbades eine ausgeprägtere Sympathikusaktivierung oder zumindest eine Abnahme der Parasympathikusaktivität zu erwarten gewesen [82, 86].

Es gibt jedoch eine Vielzahl von Studien, die belegen, dass mit Hilfe der HRV-Parameter die körperliche und psychische Beanspruchung objektiv zu beurteilen sind [40, 69, 142]. Die HRV-Parameter sind von vielen Einflussfaktoren abhängig (Kapitel 2.2), und die Versuchsbedingungen bzw. die Ein- und Ausschlussfaktoren unterscheiden sich. Deshalb wurden trotz über 40-jähriger Forschung auf dem Gebiet der HRV noch keine international anerkannten Normwerte veröffentlicht.

5.3.3 Einfluss des Immersionseffektes während des Torfbreibades

Miwa et al. und Perini et al. registrierten während des Bades in thermoneutralem Wasser ($34,5^{\circ}\text{C}$ - $36,0^{\circ}\text{C}$) einen Anstieg des HF-Anteils und ein Absinken der HR, des LF-Anteils und von LF/HF.

Aus dem Druck des Wassers (Immersionsdruck) auf den Oberkörper und der daraus folgenden Zentralisierung des Blutes resultiert eine vagale Dominanz gegenüber dem sympathischen Schenkel des ANS [101, 113]. Die Ergebnisse der aktuellen Studie zeigen dagegen einen Anstieg der HR, des LF-Anteils und von LF/HF. HF % sank im Laufe des Bades entsprechend einer Aktivierung des Sympathikus.

Dieses Ergebnis bestätigt die Aussage von Pratzel, dass die Wärmewirkung des Torfbreibades den anderen Einflussfaktoren gegenüber dominant ist [118].

Studien, in denen die Wirkung eines thermoneutralen Torfbreibades auf das Herz-Kreislauf-System und das ANS untersucht wurden, liegen nicht vor. Daher ist der Einfluss der Immersion während des Torfbreibades in der vorliegenden Versuchsanordnung nicht abzuschätzen.

5.3.4 Diskussion der biochemischen Wirkung während des Torfbreibades

Die biochemische Wirkung des Torfbreies auf den menschlichen Körper wird kontrovers diskutiert (Kapitel 2.1.2). Die beschriebenen antibakteriellen, antiviralen und antiinflammatorischen Wirkungen sind für die vorliegende Untersuchung nicht relevant [22, 109]. Zwar wäre ein Einfluss der durch Prostaglandine vermittelten Vasodilatation denkbar, aber über die Größenordnung der Wirkung liegen keine Daten vor [56]. Gegenwärtig wird deshalb der Einfluss der biochemischen Wirkungen von Torfbreibädern auf das Herz-Kreislauf-System als vernachlässigbar eingeschätzt [116].

5.3.5 Einfluss der Umgebungstemperatur und der Luftfeuchtigkeit während des Torfbreibades

Die Umgebungstemperatur war während der gesamten Datenerhebung nahezu konstant ($22,6 \pm 1,3^{\circ}\text{C}$). Während der Torfbreibadphase waren die Probandinnen bis auf den Kopf-Halsbereich, die Unterarme, Handgelenke und Hände vom Torfbrei bedeckt. Unter therapeutischen Bedingungen befinden sich während des Badens lediglich der Kopf und der Hals nicht im Torfbrei.

Die EKG-Messung erforderte aber, dass auch die Hände trocken blieben. Nach der Neunerregel konnten daher über 22 % (9 % Kopf, 9 % Unterarme und 2 x 2 % Hände) der Körperoberfläche Wärme, im Sinne der Temperaturregulation, an die Umgebung abgegeben werden [64].

Während der aktuellen Untersuchung standen dementsprechend 13 % mehr Körperoberfläche als beim therapeutischen Bad zum Temperatúrausgleich mit der Umgebung zur Verfügung.

Dieser Unterschied zwischen üblicher Praxis und Versuchsaufbau wurde im Sinne der Machbarkeit der Datenerhebung in Kauf genommen. Es ist zu vermuten, dass die kardiovaskuläre Belastung deshalb unter Studienbedingungen etwas geringer war.

Bei geringer relativer Luftfeuchtigkeit verdunstet der Schweiß auf der Haut und kühlt diese ab. Bei steigender relativer Luftfeuchtigkeit nimmt die Schweißverdunstung ab, der Schweiß tropft von der Haut herunter. Der kühlende Effekt bleibt aus. Deshalb wird mit steigender relativer Luftfeuchtigkeit eine erhöhte Schweißproduktion erforderlich, um den Körper ausreichend zu kühlen (Tabelle 5-1) [2, 33].

Tabelle 5-1: Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Schweißbildung zur Kühlung des Körpers um 500 kcal [152]

Relative Luftfeuchtigkeit [%]	Erforderliche Schweißmenge [Liter] zur Kühlung des Körpers um 500 kcal
10	1,0 - 1,5
30	1,5 - 2,0
50	2,0 - 3,0
70	3,0 - 4,0

In Abhängigkeit von der Lufttemperatur beeinflusst die relative Luftfeuchtigkeit auch die Befindlichkeit. Bei einer durchschnittlichen Lufttemperatur von 22,6 °C wird eine relative Luftfeuchtigkeit von unter 33 % als „zu trocken“ und eine relative Luftfeuchtigkeit über 66 % als „zu feucht“ oder „schwül“ empfunden. Eine relative Luftfeuchtigkeit zwischen diesen beiden Werten, bei genannter Temperatur, wird als „behaglich“ eingeschätzt [136].

Da die relative Luftfeuchtigkeit einen erheblichen Einfluss auf die Thermoregulation und die Befindlichkeit hat, sollte sie in zukünftigen Untersuchungen ähnlicher Fragestellungen registriert werden.

5.3.6 Einfluss von visuellen und akustischen Reizen sowie endogenen Faktoren während des Torfbreibades

Die Probandinnen befanden sich während des Torfbreibades allein in einem geschlossenen Baderaum, in den keine äußeren akustischen Reize eindringen (Kapitel 3.2.3). Der Einfluss visueller und akustischer Reize auf die Veränderungen der HRV-Parameter dürfte daher sehr gering sein.

Grundlagen zur Beeinflussung des Herz-Kreislauf-Systems durch endogene Faktoren während des Torfbreibades werden im Kapitel 2.2.9 beschrieben. Da in der vorliegenden Studie am Ende der Torfbreibadphase (2c) keine psychologischen Fragebögen vorgelegt wurden, können keine Aussagen über die unmittelbare Beeinflussung des Herz-Kreislauf-Systems auf die Befindlichkeit und Stimmung während des Bades getroffen werden.

5.4 Beeinflussung des kardiovaskulären Systems nach dem Torfbreibad

Wegen des Duschens, Abtrocknens und Wiederanschließens der Elektroden nach dem Torfbreibad konnte fünf Minuten lang kein EKG abgeleitet werden. Aussagen über den Verlauf der Messwerte direkt nach Beendigung des Bades und über den Einfluss der Hygienemaßnahmen sind deshalb nicht möglich.

Das Abduschen mit $36,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ warmem Wasser über durchschnittlich drei Minuten kühlte die Körper der Probandinnen oberflächlich ab. Da das warme Wasser beim Duschen sofort herabrann, erfolgte fortwährend eine Wärmeenergieübertragung durch Konvektion von den wärmeren Körpern der Probandinnen auf das etwas kühlere Duschwasser. Das Ausmaß ist nicht bekannt, da der Temperaturverlauf nicht gemessen wurde. Außerdem wurde nach Verlassen der Wanne die Körperwärme durch Strahlung und Konvektion an die Umgebungsluft über die gesamte Körperoberfläche abgegeben.

Zu Beginn der Nachruhephase sank die HR hochsignifikant ab und änderte sich im weiteren Verlauf nur noch unwesentlich. Am Ende der 20-minütigen Nachruhephase lag die HR mit 70,4 bpm nur noch geringfügig, aber signifikant über dem Basiswert von 67,3 bpm. Die Körperkerntemperatur der zugedeckten Probandinnen sank während der Nachruhephase bei einer Umgebungstemperatur von $22,6^\circ\text{C}$ im Zuge der Thermoregulation weiter ab. Dass sich mit zunehmender Abkühlung der Körper der sympathische Einfluss verringerte, wird an den Ergebnissen der Messphase 3a deutlich. Das Verhältnis LF/HF sank im Vergleich zur Phase 2c hochsignifikant ab, die HF % und die RMSSD stiegen hochsignifikant an. Die HRV nahm zu, die vagale Komponente gewann daher an Einfluss. Um den Verlauf der Körpertemperatur während der Nachruhephase genau beurteilen zu können, sollte in zukünftigen Untersuchungen die Körpertemperatur aurikulär mit einem Tympanothermometer während dieser Phase registriert werden.

Im Gegensatz zur HR, die während der gesamten Nachruhephase den Basiswert nicht erreichte, waren LF/HF, LF, HF und RMSSD zu Beginn der Nachruhephase bereits auf das Niveau der Basiswerte abgefallen (Abbildung 4.2 - Abbildung 4.8).

In Anbetracht der lediglich geringen HR-Erhöhung im Vergleich zum Basiswert und der nicht nachweisbaren Aktivitätsänderung des ANS im Vergleich zur Vorruhephase ist für junge gesunde Frauen eine Nachruhephase von 20 Minuten nicht notwendig, damit sich die Aktivität des Herz-Kreislauf-Systemes und das ANS normalisiert.

Beim Übergang von der Messphase 3b zur Phase 3c sank die mittlere HF % ($p < 0,01$) und der mittlere Quotient LF/HF stieg an ($p < 0,05$). Dies ist ein Hinweis auf eine Aktivierung des sympathischen Schenkels am Ende der Nachruhephase. Die Medianwerte von HF % und LF/HF entwickelten sich im Vergleich zu den Mittelwerten gegensätzlich (Tabelle 4-8, Tabelle 4-9). Den Ergebnissen des Wilcoxon-Tests ist zu entnehmen, dass sich die Signifikanzangaben jedoch auf die fallende HF % bzw. auf die steigende LF % beziehen, was der Tendenz der Mittelwerte entspricht. Betrachtet man die Ergebnisse der einzelnen Probandinnen fällt auf, dass die HF % von Phase 3b-3c von 18 Frauen fiel und nur von drei Frauen anstieg. LF/HF von 14 Frauen stieg an und von 4 Frauen fiel er ab. Bei zwei Frauen änderte sich LF/HF nicht. Die Parameterwerte der Mehrheit der Frauen entwickelte sich dementsprechend so, wie es die Mittelwerte bei Übergang von Phase 3b zu 3c angeben. Der Mittelwert wird deshalb als aussagekräftiger als der Median angesehen, obwohl die Messwerte nicht normalverteilt sind.

Welche Faktoren die Veränderungen von HF % und LF/HF beim Übergang der Messphasen 3b zu 3c verursachten, kann nur vermutet werden. Es ist wenig wahrscheinlich, dass diese Faktoren bereits zu Beginn der Nachruhephase wirkten bzw. eine Nachwirkung des Bades sein konnten, da Hinweise auf eine Sympathikusaktivierung erst im Laufe von 3b und 3c auftraten. Die äußere Temperatur kann nicht dafür verantwortlich gemacht werden, da sie sich während der gesamten Nachruhephase nicht änderte. Ebenso kann eine Kreislaufaktivierung aufgrund einer Körperlageveränderung der Probandinnen ausgeschlossen werden, da sich dies in einer Störung der EKG-Aufzeichnung im Sinne von Artefakten geäußert hätte. Auch zusätzliche optische Reize beeinflussten die Frauen nicht, da sie allein in verschlossenen Kabinen lagen.

Eine wesentliche Ursache der leichten Sympathikusaktivierung können akustische Reize sein. Die Untersuchung fand in der Mittagspause der Badeabteilung der Klinik statt, um eine Untersuchung in möglichst reizarmer Umgebung zu gewährleisten. Während der letzten beiden Messphasen der Nachruhe (3b und 3c) fanden sich jedoch wieder Patienten im Warteraum der Abteilung ein, um sich im Anschluss behandeln zu lassen. Obwohl sie über die Durchführung einer medizinischen Studie in Kenntnis gesetzt wurden, ließ sich ein Anstieg des Lärmpegels nicht vermeiden.

Durch einen 15 cm hohen Spalt zwischen Bodenfliesen und Kabinenbegrenzung bzw. aufgrund der fehlenden Kabinendecken konnten die Probandinnen in der Nachruhephase die Geräusche der wartenden Patienten wahrnehmen. Akustische Reize können bewusst oder unbewusst als Stress empfunden werden [77]. Dabei kann eine Parasympathikolyse mit gleichzeitiger Aktivierung des Sympathikus beobachtet werden [142]. Im Sinne der Intensivierung der Erholungsphase nach dem Torfbreibad wäre eine Lärmreduktion z. B. durch das Tragen von Kopfhörern denkbar. Eine bauliche Umgestaltung der Kabinen wäre sicherlich auch zielführend, erscheint aus Gründen der Praktikabilität und des erforderlichen Luftaustausches jedoch nicht als sinnvoll.

Zudem kann die Antizipation der Fortsetzung der anschließenden Alltagsarbeit durch die Probandinnen zur Sympathikusaktivierung beigetragen haben.

5.5 Beurteilung der Befindlichkeits- und Stimmungsänderungen

Um den Einfluss der Torfbreibadtherapie auf die Befindlichkeit und die Stimmung der Probandinnen beurteilen zu können, wurden vor der Vorruhephase und nach der zweiten Ruhephase die Kurzformen des Mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogens (MDBF-A) und des Mainzer Stimmungsfragebogens (MStF-K) ausgefüllt.

Durch die erste Befragung wurden die Befindlichkeit und die Stimmung der Probandinnen zu Beginn der Datenerfassung registriert. Die Erkenntnisse, die aus der zweiten Befragung gewonnen wurden, sind die Summation der Wirkungen aller drei Messphasen (Vorruhephase, Torfbreibad und Nachruhephase) auf die Befindlichkeit und die Stimmung der Probandinnen.

5.5.1 Befindlichkeitsbeurteilung mit dem MDBF-A

Der Kolmogorov-Smirnov-Test ergab, dass die Werte der Befindlichkeitsbeurteilung mit dem MDBF-A nicht normalverteilt waren. Dieses Ergebnis wird dadurch gestützt, dass die ermittelten Mediane nicht den Mittelwerten entsprechen und sich einige Mediane nicht im Konfidenzintervall befinden [105]. Aufgrund der ganzzahligen Itemwerte (1-5) sind auch die Werte der Mediane ganzzahlig. Statistische Veränderungen in der Bewertung der Items und Skalen sind demzufolge nicht so gut zu erkennen wie bei der Beurteilung mittels gebrochenzahliger Mittelwerte.

Bei der Befragung vor der Vorruhephase wurden bis auf dem Item „munter“ allen positiv gepolten Adjektiven hohe Werte zugeordnet (mindestens 3,24 von 5,00 möglichen Punkten). Die Adjektive, die den negativen Polen der Befindlichkeitsskalen zugeordnet wurden, erhielten niedrige Bewertungen (maximal 2,19 von möglichen 5,00 Punkten) (Kapitel 4.5.1). Die Probandinnen schätzten ihre Befindlichkeit entsprechend der drei Skalen als „gut gestimmt“, „munter“ und „ruhig“ ein. Zu den Ursachen für die gute Befindlichkeit dürfte beigetragen haben, dass die Probandinnen gesund waren, freiwillig an der Untersuchung teilnahmen, über den Ablauf aufgeklärt waren und sich in einer ruhigen Umgebung befanden. Außerdem war den Studentinnen und Mitarbeiterinnen der Dr. Ebel Fachklinik „Moorbad“ Bad Doberan das Torfbreibad schon zuvor als angenehme Behandlung bekannt.

Nach der Torfbreibadtherapie hatten die Bewertungen aller positiv gepolten Adjektive zugenommen, die aller negativ gepolten Adjektive nahmen ab (Tabellen 4-10 bis 4-12). Dementsprechend war die Befindlichkeit der Probandinnen nach der Torfbreibadtherapie besser als davor. Die Ursachen dieser Veränderungen können nur vermutet werden.

Bei Betrachtung der einzelnen Skalen fällt auf, dass in der Skala „Gute Stimmung,- Schlechte Stimmung“ die Werte für das Item „zufrieden“ in der zweiten Befragung hoch signifikant im Vergleich zur ersten Befragung angestiegen waren. Offenbar waren die Probandinnen mit dem für sie subjektiv wahrgenommenen Ergebnis der Therapie zufrieden. Die Erklärungen des Versuchsablaufes waren vermutlich hinreichend und weckten keine falschen Erwartungen.

Die Probandinnen schätzten ihre Befindlichkeit in der zweiten Befragung außerdem als signifikant besser ein. Keine fühlte sich, im Vergleich zur ersten Befragung, weniger wohl. Damit wurde die Therapie als angenehm und nicht sehr anstrengend empfunden. In der Skala „Wachheit - Müdigkeit“ war lediglich die Ausprägungsveränderung des Items „ausgeruht“ hochsignifikant. Damit fühlten sich die Probandinnen trotz der kardiovaskulären Belastungen des Bades nach der Untersuchung ausgeruhter als davor.

Aus den unwesentlichen und nicht signifikanten Änderungen der Werte für „schlapp“ und „müde“ kann geschlussfolgert werden, dass die Anwendung die Probandinnen subjektiv nicht ermüdete. Die Auswertung der Skala „Ruhe - Unruhe“ ergab, dass sich alle Probandinnen weniger ruhelos, weniger unruhig, gelassener und vor allem entspannter fühlten. Auch hier trat in keinem Fall eine Verschlechterung auf.

Für das negativ gepolte Adjektiv „unwohl“ konnte kein Konfidenzintervall angegeben werden, da die Streuung der Werte zu gering war. Alle Probandinnen ordneten dem Adjektiv den Wert „1“ zu. Die überwiegende Bewertung der negativ gepolten Adjektive mit „1“ wird als „Bodeneffekt“ bezeichnet. Er ist Ausdruck geringer Trennschärfe des Testes bezüglich der negativ gepolten Adjektive bei der Befragung junger gesunder Probandinnen [147].

Ein „Deckeneffekt“ im Sinne geringer Trennschärfe in der Beurteilung der Adjektive mit hohen Zahlenwerten konnte nicht nachgewiesen werden. Die Probandinnen bewerteten die positiv gepolten Adjektive zwar bereits initial mit relativ hohen Zahlenwerten, aber es konnten immer Konfidenzintervalle angegeben werden, und die Mediane stiegen stets von der ersten zur zweiten Befragung an.

Da die Befindlichkeit durch eine geringe zeitliche Stabilität gekennzeichnet ist, wird sie durch die Torfbreibadtherapie beeinflusst [140]. Aufgrund des Studiendesigns kann die positive Befindlichkeitsbeeinflussung nicht einer konkreten Messphase zugeordnet werden. Da die Torfbreibadtherapie in der Routine jedoch ebenfalls eine 20-minütige Bade- und Nachruhephase beinhaltet, können die genannten Erkenntnisse auf die Routineanwendung übertragen werden.

5.5.2 Stimmungsbeurteilung mit dem MStF-K

Vor Beginn der Vorruhephase bewerteten die Probandinnen die Skalen ÄGS (ängstlich-gedrückte Stimmung) und MOS (morose/verdrießliche Stimmung) niedrig. Der GHS-Skala (gehobene Stimmung) wurden dagegen hohen Werte zugeordnet (Tabelle 4-17). Damit war ihre Stimmungslage zu diesem Zeitpunkt bereits gut. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der guten Befindlichkeit zu Beginn der Datenerhebung. Nachweislich ist eine gute Stimmung mit einer erhöhten Parasympathikusaktivität verbunden [38]. Dies bestätigt sich auch in den HRV - Ergebnissen der vorliegenden Studie (Kapitel 4).

Bei der zweiten Befragung änderten sich lediglich drei der 15 Items signifikant („besorgt“, „gereizt“ und „gutgelaunt“; Kapitel 4.5.2). Damit wurden die meisten Stimmungsqualitäten von der Torfbreibadtherapie nicht beeinflusst. Diese Ergebnisse stützen die Aussage von Fischbeck und Huppmann, dass die Stimmung über einen längeren Zeitraum persistiert und „keinen eindeutigen Bezug zu Objekten und Situationen erkennen lässt“ [76].

Keine der Probandinnen fühlten sich bei der zweiten Befragung „ängstlich“, „bang“, „hilflos“ und „verzweifelt“. Daher konnten für diese Items keine Konfidenzintervalle angegeben werden. Dieser „Bodeneffekt“ zeigt, dass die genannten Adjektive nicht geeignet sind, die Stimmung junger gesunder Probandinnen differenziert im Laufe der Torfbreibadtherapie zu beschreiben.

„Ein Deckeneffekt“ konnte auch bei der Anwendung des MStF-K nicht nachgewiesen werden. Mittelwerte und Mediane erreichten nie den Wert „5“, die Standardabweichung war nie „0“, und es konnten für alle positiv gepolten Adjektive Konfidenzintervalle angegeben werden. Deshalb sind die positiv gepolten Items für die differenzierte Beurteilung der Stimmung junger gesunder Probandinnen geeignet.

5.6 Zusammenhang zwischen HRV-Änderung und den Ergebnissen der psychologischen Befragungen

5.6.1 Zusammenhang zwischen HRV-Änderung und den Ergebnissen des MDBF-A

Lehrer und Mück-Weymann postulieren, dass die HRV-Messung eine geeignete indirekte Methode darstellt, um den psycho-physischen Entspannungszustand in unterschiedlichen Situationen zu beurteilen (Kapitel 2.2.9) [93, 103]. Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen dieses Postulat jedoch nicht. Im Kapitel 5.4 wurde herausgearbeitet, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen HRV-Parametern der Vor- und Nachruhephase auftraten. Dementsprechend dürfte sich auch die psychische Beanspruchung nicht ändern. Die Auswertung des MDBF-A ergab jedoch eine signifikant bessere Befindlichkeit nach der zweiten Ruhephase.

Unklar ist, weshalb dies nicht signifikant durch die HRV-Parameter reflektiert wurde. Entscheidend könnte sein, dass entsprechend der Ausprägungen der HRV-Parameter in der Vorruhephase bereits eine relativ hohe parasympathische Aktivität vorlag. Nach Abklingen der sympathischen Aktivierung durch das Torfbreibad in der zweiten Ruhephase stellte sich die relativ hohe parasympathische Aktivität wieder ein, ohne dass die gebeserte Befindlichkeit zusätzliche Einflüsse auf die HRV ausüben konnte. Bei niedrigerem Ausgangsniveau der vagalen Aktivität hätte sich ein Einfluss durch die Befindlichkeitsverbesserung vermutlich zeigen lassen.

Es bleibt zudem offen, ob die Befindlichkeit durch das Torfbreibad allein oder nicht eher durch die Gesamtprozedur beeinflusst wurde. Zur Klärung dieses Sachverhaltes müsste am Ende der Vorruhephase und nach der Torfbreibadphase ebenfalls der MDBF-A vorgelegt werden.

5.6.2 Zusammenhang zwischen HRV-Änderung und den Ergebnissen des MStF-K

Curic et al. konnten keinen signifikanten Zusammenhang zwischen HRV-Werten und subjektiver Stimmungseinschätzung im Vergleich von belastenden und entspannenden Situationen nachweisen [38]. Sie beobachteten während der Entspannung trotz erhöhter vagaler Aktivität keine Stimmungsänderungen. Ihrer Meinung nach liegen die Gründe vermutlich in der Struktur des Stimmungsfragebogens bzw. der mangelnden introspektiven Fähigkeiten der Probandinnen. Naheliegender ist jedoch, dass die Stimmung über einen längeren Zeitraum persistiert und nicht kurzfristig beeinflussbar ist [76]. HR- und HRV-Veränderungen spiegeln dagegen auch kurzfristige Aktivitätsschwankungen des vegetativen Nervensystems wider.

6 Methodische Schwächen und Empfehlungen

Im Rahmen dieser Studie konnte kein altersabhängiger Einfluss auf die Herzraten aller Messphasen nachgewiesen werden. Diese Erkenntnis darf aufgrund der geringen Probandinnenzahl in beiden Altersgruppen (15 Frauen vs. 6 Frauen) jedoch nicht verallgemeinert werden. Eine Untersuchung des Einflusses des Alters auf die Parameter der HRV wurde deshalb nicht durchgeführt.

Aufgrund der Erkenntnisse zurückliegender Studien bezüglich der Abhängigkeit der HRV vom Alter und der Ruhe-HR sollten in zukünftigen Studien die Altersspanne und die Spanne der Ruhe-HR so gering wie möglich gewählt werden, um Einflüsse auf die HRV genauer untersuchen zu können. Allerdings wird die Generalisierbarkeit der Ergebnisse dadurch eingeschränkt.

Die vorliegenden Ergebnisse können wegen der Abhängigkeiten der HRV nicht auf Kinder, ältere Personen und auf Männer übertragen werden. Da Torfbreibäder in Deutschland im Rahmen der Balneotherapie und Kurortmedizin vor allem bei Älteren angewendet werden, bedarf es weiterer Untersuchungen. Aus den dann gewonnenen Ergebnissen könnten außerdem alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede herausgearbeitet werden.

In der vorliegenden Studie mussten die Daten von sechs Probandinnen verworfen werden, da die Registrierungen wegen abgelöster Klebeelektroden unvollständig waren. Abhilfe könnte eine Verbesserung der Elektrodenapplikation durch Rasieren der Unterarme oder Verwendung von breiten Armbändern zur zusätzlichen Fixierung schaffen. Denkbar ist außerdem die HR-Registrierung mit Pulsuhr und dazugehörigem Brustgurt. Die aktuell verfügbare Technik müsste jedoch dahingehend weiter entwickelt werden, dass der Sender, welcher sich im Brustgurt befindet, im Torfbreibad bei bis zu 45 °C zuverlässige Messergebnisse liefert. Insbesondere das Dichtungssystem des Senders wäre zu optimieren.

So wäre eine komfortable und kontinuierliche Datenaufzeichnung und Auswertung möglich, die eine unmittelbare Beurteilung der Reaktionsfähigkeit des ANS während des Torfbreibades erlauben würde. Blicke ein Abfall der HRV im Sinne einer Aktivitätssteigerung des Sympathikus während des Torfbreibades aus, könnte die Therapie vorzeitig abgebrochen werden und schwere Kreislaufdysregulationen könnten vermieden werden. Weiterführende Studien sind erforderlich, um zu überprüfen, ob die HRV - Registrierung und Auswertung die Sicherheit der Torfbreibadtherapie erhöhen kann. Dies wäre gerade bei multimorbiden Patienten von Interesse.

Literatur, in der beschrieben wird, wie der Immersionseffekt thermoneutraler Flüssigkeiten mit einem Immersionsdruck, der dem des Torfbreies entspricht, auf den menschlichen Körper wirkt, liegt nicht vor. Daher sollte die Untersuchung des Einflusses der Immersion während eines thermoneutralen Torfbreibades Gegenstand einer zukünftigen Studie sein. Es ist empfehlenswert, auch die Körpertemperatur (aurikulär mittels Tympanothermome-

ter) und den Blutdruck während der Torfbreibadtherapie zu erfassen, um genauere Aussagen über die Beeinflussung des Herz-Kreislauf-System zu erhalten. Studien ähnlicher Fragestellung können aufgrund der sich stark unterscheidenden Abläufe, Ein- und Ausschlusskriterien nur eingeschränkt herangezogen werden.

Da die Luftfeuchtigkeit einen erheblichen Einfluss auf die Thermoregulation und die Befindlichkeit hat, sollte sie in zukünftigen Untersuchungen ähnlicher Fragestellungen registriert werden.

Da in dieser Studie lediglich vor der Vorruhephase und im Anschluss an die Nachruhephase der MDBF-A vorgelegt wurde, kann nicht zwischen den Einflüssen der Ruhephasen und des Torfbreibades auf die Befindlichkeit unterschieden werden. Daher wird empfohlen, auch am Ende der Vorruhephase und der Torfbreibadphase einen Befindlichkeitsfragebogen vorzulegen.

Die nachgewiesene geringe Trennschärfe des MDBF-A bezüglich der Bewertung der negativ gepolten Adjektive im Sinne eines Bodeneffektes wird als Ausdruck der besonders guten Befindlichkeit der gesunden jungen Probandinnen gewertet. Da kein Deckeneffekt auftrat und sich die Befindlichkeit der Probandinnen durch die Torfbreibadtherapie verbesserte, kann der MDBF-A dennoch für nachfolgende Befindlichkeitsbeurteilungen empfohlen werden.

Mit Hilfe des Mainzer-Stimmungsfragebogens kann vor Beginn der Studie zwar die Stimmung erfasst werden, aber eine wiederholte Vorlage am Ende der Therapie ist aufgrund der fehlenden kurzfristigen Beeinflussbarkeit der Stimmung nicht sinnvoll.

Es ist im Rahmen des Rehabilitationseffektes von Interesse, ob sich die Beeinflussung des ANS, der Befindlichkeit und der Stimmung durch das Torfbreibad nach mehrmaliger Therapie im Vergleich zur einmaligen Anwendung ändert. Registrierungen von HR, HRV, Befindlichkeit und Stimmung während des stationären Aufenthaltes bzw. bei der ersten und letzten Anwendung von Torfbreibädern sind deshalb zu empfehlen. So gewonnene Erkenntnisse könnten u. a. die bisherigen Indikationen der Torfbreibadtherapie als Bestandteil der Balneotherapie erweitern.

7 Zusammenfassung

Das Torfbreibad (39° C – 45° C) ist eine etablierte Therapieform, die insbesondere in der ambulanten und stationären Rehabilitationsmedizin zur Schmerzlinderung, Durchblutungssteigerung, Gelenkentlastung und Muskelentspannung eingesetzt wird. Die physiologischen Grundlagen der Wirkungsweise dieser milden Hyperthermietherapie sind weitgehend erforscht und basieren vorrangig auf den thermophysikalischen Wirkungen des Torfbreies. Ein optimales Zusammenspiel zwischen Sympathikus und Parasympathikus des autonomen Nervensystems (ANS) ist erforderlich, um die Adaptation des Herz-Kreislauf-Systems an die thermophysikalische Belastung durch das Torfbreibad zu gewährleisten. Ziel der vorliegenden Pilotstudie war es, mittels Analyse der Herzratenvariabilität (HRV) die Beeinflussung des ANS während eines Torfbreibades zunächst bei jungen gesunden Frauen abzuschätzen. Außerdem wurden Messmethoden und technischer Ablauf in der Studie erprobt. Da in der Rehabilitationsmedizin das Gesamtkonzept aus physikalischen und psychologischen Therapiemodulen entscheidend ist, war auch von Interesse, wie Befindlichkeit und Stimmung durch die Torfbreibadtherapie beeinflusst werden.

An der Studie nahmen 27 gesunde Frauen im Alter von 20 bis 50 Jahren ($\bar{x} = 27,5$ Jahre) teil. Mit einem Langzeit-EKG-Rekorder wurden zweikanalige EKGs während einer Vorruhephase (20 min), während des sich anschließenden Torfbreibades (20 min; 40,5° C) und während der Nachruhephase (20 min) registriert. Dazu wurden drei Elektroden am linken und zwei Elektroden am rechten Handgelenk befestigt. Die HRV-Analyse wurde mit der „Software for advanced HRV analysis“ (Universität Kuopio, Finnland) durchgeführt. Zur Erfassung von Befindlichkeit und Stimmung wurden vor der Vorruhephase und im Anschluss an die Nachruhephase die Kurzformen des Mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogens (MDBF-A) und des Mainzer Stimmungsfragebogens (MStF-K) angewendet.

Wegen unvollständiger EKG-Registrierungen aufgrund unzureichenden Elektrodenkontakts mussten die Daten von sechs Probandinnen (22 %) verworfen werden.

Die Probandinnen standen zu Beginn der Datenerhebung unter ausgeprägter vagaler Beeinflussung. Beim Übergang in die Torfbreibadphase erhöhte sich die HR und damit die Sympathikusaktivität sehr signifikant ($p < 0,01$). Die parasympathische Aktivität fiel dagegen sehr signifikant ($p < 0,01$) ab. Im Verlauf des Torfbreibades änderten sich lediglich die Parameter signifikant ($p < 0,05$), die eine Abnahme der parasympathischen Aktivität anzeigen. Die Sympathikusaktivität war dagegen gleichbleibend hoch. Beim Übergang in die Nachruhephase war die Aktivität des vegetativen Nervensystems wieder mit der in der Vorphase vergleichbar.

Die Probandinnen schätzten ihre Befindlichkeit und ihre Stimmung bei der initialen Befragung als gut ein. Sie waren entsprechend der drei MDBF-A-Skalen „gut gestimmt“, „munter“ und „ruhig“. Die abschließende psychologische Befragung ergab, dass die Torfbreibadtherapie die Befindlichkeit der Probandinnen signifikant ($p < 0,05$) verbesserte, jedoch keinen Einfluss auf die Stimmung hatte.

Die Ergebnisse der HRV - Analyse zeigen, dass die sympathikusstimulierende Wärmewirkung des Torfbreies auf den menschlichen Körper gegenüber dem vagusstimulierenden Immersionseffekt des Torfbreies dominiert. Ein 20-minütiges warmes Torfbreibad stellt für gesunde junge Probandinnen zu Beginn eine mittlere Beanspruchung dar. Sie steigt während des Bades an und führt im Verlauf zu einer moderaten Aktivitätsänderung des ANS. Das Torfbreibad ist somit eine schonende Form der milden Hyperthermie. Die Auswertung entsprechender Studien ergibt, dass das Torfbreibad besser für die Hyperthermiebehandlung geeignet ist als ein Warmwasserbad gleicher Temperatur, da die Wärmeübertragung im Torfbrei langsamer erfolgt und der HR - Anstieg weniger stark ist. Ein „steady state“ der ANS - Aktivität stellte sich nicht ein, was die Adaptationsfähigkeit der Probandinnen an die Belastung durch das Torfbreibad unterstreicht. Eine 20-minütige Nachruhephase ist für junge gesunde Frauen nicht notwendig, um sich von der Wirkung des Torfbreibades auf die HR und die HRV zu erholen.

Die EKG-Registrierung erwies sich als fehleranfällig. Abhilfe können die Verwendung eines EKG-Rekorders, der eine kontinuierliche Überwachung der Daten mit Sichtkontrolle ermöglicht und eine verbesserte Elektrodenapplikation schaffen. Die Software „Software for advanced HRV analysis“ kann empfohlen werden.

Die gute Befindlichkeit und Stimmung der Probandinnen zu Beginn der Untersuchung entspricht der hohen Parasympathikusaktivität während der Vorruhephase. Die Torfbreibadtherapie beeinflusst die Befindlichkeit junger gesunder Frauen positiv. Dies spiegelt sich jedoch nicht in einer erhöhten Parasympathikusaktivität am Ende der Datenerhebung wider. Die Untersuchungszeit von 60 min war zu kurz, um eine Stimmungsänderung zu erfassen.

Zukünftige Studien sollten zeigen, ob die mehrmalige Anwendung des Torfbreibades andere Auswirkungen auf das ANS, die Befindlichkeit und die Stimmung hat, als die einmalige Therapie. Ebenso sollte die Versuchsanordnung bei älteren Probanden und verschiedenen Patientengruppen geprüft werden.

8 Thesen

1. Ein Torfbreibad (40,5 °C; 20 min) führt bei jungen gesunden Frauen initial zu einer Aktivierung des Sympathikus und zu einer Abnahme der Aktivität des Parasympathikus.
2. Im Verlauf des Torfbreibades stabilisiert sich die Sympathikusaktivität auf einem hohen Niveau, die vagale Aktivität nimmt weiter ab.
3. Die sympathikusstimulierende thermische Wirkung des Torfbreies auf den menschlichen Körper ist gegenüber dem vagusstimulierenden Immersionseffekt des Torfbreies dominant.
4. Die Probandinnen wiesen eine gute Adaptationsfähigkeit an die kardiovaskuläre Belastung durch das Torfbreibad auf.
5. Die Auswertung entsprechender Studien ergab, dass das Torfbreibad besser für die Hyperthermiebehandlung geeignet ist als ein Warmwasserbad gleicher Temperatur.
6. Junge gesunde Frauen benötigen keine 20 minütige Nachruhephase (Erholungsphase), um sich von der Wirkung des Torfbreibades auf die Herzrate und die Herzratenvariabilität zu erholen.
7. Die Torfbreibadtherapie verbessert die Befindlichkeit der Probandinnen und hat keinen Einfluss auf ihre Stimmung.
8. Die Applikation von kommerziellen Elektroden „Blue Sensor VL“ eines Holter-Recorders muss für die EKG-Registrierung bei einem Torfbreibad um geeignete Maßnahmen gegen deren gelegentliches Ablösen infolge der hohen Schweißproduktion ergänzt werden.

A Literaturverzeichnis

- [1] http://www.dr-mueck.de/hm_hrv/hm_hrv-Bedeutung.htm, 2001.
- [2] <http://hww.fk14.tu-dortmund.de/cms/hww/de/aktuelles/meldungsarchiv/2010-03/fluessigkeitshaushalt/index.html>, 2004.
- [3] <http://www.mdr.de/hauptsache-gesund/1950766.html>, 2005.
- [4] <http://www.moorbad-doberan.de/moorbehandlungen.336.html?>, 2009.
- [5] <http://www.paradisi.de/Wellness/Baeder/Moorbad/Artikel/6710.php>, 2009.
- [6] <http://www.herzfrequenzvariabilitaet.de/HRV-Geraete/HRV-Geraete.htm>, 2010.
- [7] <http://www.hrv24.de/HRV-Geschichte.htm>, 2010.
- [8] <http://www.moorbad-doberan.de/Fakten-und-Zahlen.63.html>, 2010.
- [9] <http://www.pursuit-performance.com.au/polar/html/local/manuals/s810%20users%20manual.htm>, 2010.
- [10] <http://www.testzentrale.de/programm/mehrdimensionale-befindlichkeitsfragebogen.html?catId=18>, 2010.
- [11] http://www.polar.fi/e__manuals/RCX5/Polar__RCX5nderline__user__manual__Deutsch/manual.pdf, 2011.
- [12] ABELE, A. und BECKER, P.: *Wohlbefinden: Theorie, Empirie, Diagnostik*. Juventa Verl., Weinheim; München, 2. Aufl., 1994.
- [13] AKSELROD, S., GORDON, D. und UBEL, F. A. ET AL.: *Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control*. Science, 213:220–222, 1981.
- [14] ALLISON, T. G., MARESH, C. M. und ARMSTRONG, L. E.: *Cardiovaskular responses in whirlpool bath at 40 degree C versus user-controlled water temperatures*. Mayo Clin Proc, 73 (3):210–215, 1998.
- [15] ALTMAYER, P.: *Therapielexikon Dermatologie und Allergologie*, S. 110. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005.
- [16] AMBU[®], DEUTSCHLAND: *Produkteigenschaften des Blue Sensor[®] VL*, 2008.

- [17] ANASTASI, A.: *Traits, states and situations: A comprehensive view*, S. 345–356. H. Wainer and S. Messick, 1983.
- [18] AUER, J., BERENT, R. und WEBER, T. ET AL.: *Kardiovaskuläre Effekte von Schilddrüsenhormonen und Schilddrüsenfunktionsstörungen*. Journal für Kardiologie, 14 (1-2):5–12, 2007.
- [19] BALACHANDRAN, J. S., BAKKER, J. P. und RAHANGDALE, S. ET AL.: *Effect of mild, asymptomatic obstructive sleep apnea on daytime heart rate variability and impedance cardiography measurements*. Am J Cardiol., 109 (1):140–145, 2012.
- [20] BEASTON-WIMMER, P. und SMOLEN, A. J.: *Gender differences in neurotransmitter expression in the rat superior cervical ganglion*. Brain Res Dev Brain Res, 58 (1):123–8, 1991.
- [21] BECKER, B. E., HILDENBRAND, K. und WHITCOMB, R. K. ET AL.: *Biophysiologic effect of warm water immersion*. International Journal of Aquatic Reserche and Education, 3:24–37, 2009.
- [22] BEER, A. M.: *Moorthherapie in der Rehabilitation – Aktueller Stand der Forschung*. Forsch Komplementärmed Klass Naturheilkd, 9:45–47, 2002.
- [23] BEER, A. M., LUKANOV, J. und SAGORCHEV, P.: *Moderne Moorthherapie*, „Torf ist nicht gleich Torf“, S. 10. Hattingen, 2007.
- [24] BELLOMETTI, S., GINANNINI, S., SARTORI, L. und CREPALDI, G.: *Cytokine levels in osteoarthritis patients undergoing mud bath therapy*. Int. J. Clin. Pharmacol. Res., 17(4):149–153, 1997.
- [25] BETZ, M. und BRAND, S.: *Objektivieren von Entspannungseffekten mit Hilfe der Herzfrequenzvariabilität*. In: *Herzratenvariabilität im Sport Prävention-Rehabilitation-Training*, S. 157–167, Czwalina Verlag, Hamburg, 2002.
- [26] BIGGER, J. T., FLEISS, J. L. und STEINMAN, R. C. ET AL.: *Correlations among time and frequency domain measures of heart period variability two weeks after acute myocardial infarction*. Am J Cardiol, 69 (9):891–898, 1992.
- [27] BLOOMFIELD, D. M., MAGNANO, A. und BIGGER, T. ET AL.: *Comparison of spontaneous vs. metronome-guided breathing on assessment of vagal modulation using RR variability*. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 280:H1145–H1150, 2001.
- [28] BOETTNER, F.: *Der Stellenwert der Herzfrequenzvariabilität bei der koronaren Herzkrankheit*. Doktorarbeit, Universität Rostock, 1998.

- [29] BOLTER, C. P. und ATKINSON, K. J.: *Influence of temperature and adrenergic stimulation on rat sinoatrial frequency*. Am J Physiol, 254:R840–844, 1988.
- [30] BONNEMEIER, H., WIEGAND, U. K. H. und BRANDES, A. ET AL.: *Circadian profile of cardiac autonomic nervous modulation in healthy subjects: differing effects of aging and gender on heart rate variability*. Journal of Cardiovascular Electrophysiology, 14 (8):791–799, 2003.
- [31] BRENKE, R. und POLONIUS, D.: *Sauna in der Medizin*, S. 323–328. Schatthauer, Stuttgart, 2002.
- [32] BRÄHLER, E., HOLLING, H. und LEUTNER, D. ET AL.: *Brickenkamp Handbuch, psychologische und pädagogische Tests, Band 2*. Hogrefe-Verlag, Göttingen, 3 Aufl., 2002.
- [33] BUX, K. und GRUPPE „ARBEITSSTÄTTEN“, BUNDESANSTALT FÜR ARBEITS-SCHUTZ UND ARBEITSMEDIZIN: *Klima am Arbeitsplatz, Stand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse - Bedarfsanalyse für weitere Forschung*, 2006.
- [34] CARDIOLOGY, TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF, PACING, THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF und ELECTROPHYSIOLOGY: *Heart rate variability: standards of measurements, physiological interpretation and clinical use*. European Heart Journal, 17:354–381, 1996.
- [35] CARNEY, R. M., FREEDLAND, K. E. und VEITH, R. C.: *Depression, the Autonomic Nervous System, and Coronary Heart Disease*. Psychosomatic Medicine, 67:S29–S33, 2005.
- [36] CEKICI, L., VALIPOUR, A. und KOHANSAL, R. ET AL.: *Short-term effects of inhaled salbutamol on autonomic cardiovascular control in healthy subjects: a placebo-controlled study*. Br J Clin Pharmacol., 67 (4):394–402, 2009.
- [37] CREVENNA, R., KEILANI, M. und PLEINER, J. ET AL.: *Kardiovaskuläre Belastung bei Badebehandlung im Moorsuspensionsbad und Unterwasserdruckstrahlmassage*. Phys Rehab Kur Med, 13:42–46, 2003.
- [38] CURIC, A., MÄNNER, H. und MEISSNER, S. ET AL.: *Untersuchung zur Herzratenvariabilität unter Stress- und Entspannungs-Bedingung*, S. 24. Universität Regensburg, 2008.
- [39] DALY, M. B.: *Aspects of the integration of the respiratory and cardiovascular system*. In: *Cardiovascular Regulation*, S. 15–35, Portland Press London, 1995.

- [40] DELANEY, J. P. und BRODIE, D. A.: *Effects of short-term psychological stress on the time and frequency domains of heart-rate variability*. Percept Mot Skills, 91 (2):515–524, 2000.
- [41] DIRNAGEL, K.: *Physikalische Grundlagen der Moorbadwirkung*. Therapiewoche, 28:1214–1220, 1978.
- [42] DU, X. J., DART, A. M. und RIEMERSMA, R. A.: *Sex differences in the parasympathetic nerve control of rat heart*. Clin Exp Pharmacol Physiol, 21 (6):485–493, 1994.
- [43] EBERLEIN, P.: *Reproduzierbarkeit und Aussage der Herzfrequenzvariabilität*. Doktorarbeit, Universität Rostock, 1998.
- [44] EGGHART, F.: *Moorthérapie - Geschichtliches*, S. 11–13. Verlag Brüder Hollinek, Wien, 1955.
- [45] EID, M., STEYER, R. und SCHWENKMEZGER, P.: *Ein Latent-State-Trait-Modell für Variablen mit geordneten Antwortkategorien*. Diagnostica, 42 (4):293–312, 1996.
- [46] EKHOLM, M. K. und ERKKOLA, R. U.: *Autonomic cardiovascular control in pregnancy*. European Journal of Obstetrics and Gynecology and Reproductive Biology, 64 (1):29–36, 1996.
- [47] ESPERER, E. D.: *Physiologische Grundlagen und pathophysiologische Aspekte der Herzratenvariabilität beim Menschen*. Herzschr Elektrophys, 5:Supplement 2:1–10, 1994.
- [48] ESPERER, H. D.: *Physiologische Grundlagen der Herzfrequenzvariabilität*. In: *Herzratenvariabilität im Fitness- und Gesundheitssport*, S. 11–44, Czwalina Verlag, Hamburg, 2003.
- [49] ETTINGER, S. M., SILBER, D. H. und COLLINS, B. G. ET AL.: *Influences of gender on sympathetic nerve responses to static exercise*. J Appl Physiol 80, 80:245–251, 1996.
- [50] FENZL, M. und SCHLEGEL, C.: *Herzratenvariabilität – Diagnosemittel für die Gesundheit: altersbezogene Effektgrößen*. Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie», 58 (4):134–140, 2010.
- [51] FISCHBECK, S.: *Patienteninformation in der Anästhesiologie*. In: *Psychosoziale Aspekte in der Prämedikationsambulanz*, S. 4, 2009.

-
- [52] FISCHBECK, S. und HUPPMANN, G.: *Stimmungen ökonomisch erfassen: Entwicklung einer Kurzform des Mainzer Stimmungsfragebogens (MStF-K)*. In: *State of the Art der Medizinischen Psychologie*, S. 42, Lengerich, Pabst Science Publishers, 2002.
- [53] FLEISCHER, L. A., FRANK, S. M. und SESSLER, D. I.: *Thermoregulation and heart rate variability*. *Clinical Science*, 90:97–103, 1996.
- [54] FRIES, E.: *Untersuchung der Effekte zweier anxiolytischer Substanzen auf die endokrine, autonome und psychische Stressreaktion im Trier Sozial Stress Test (TSST)*. Doktorarbeit, Universität Trier, 2006.
- [55] GAEHTGENS, P.: *Das Kreislaufsystem*. In: *Lehrbuch der Physiologie*, S. 181, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2001.
- [56] GOECKE, C. und RIEDE, N.: *Biologische Wirkungen von Moorinhaltsstoffen*. Heilbad u. Kurort, 45 (4):115–116, 1993.
- [57] GREGOIRE, J., TUCK, S. und YAMAMOTO, Y. ET AL.: *Heart rate variability at rest and exercise: Influence of age, gender, and physical training*. *Can J Appl Physiol*, 21 (6):455–470, 1996.
- [58] GROTHE, C., HAHN, A. und HOTTENROTT, K.: *Zum Einfluss des Mediums Wasser auf die Herzfrequenz und ihre Variabilität*. *Krankengymnastik. Zeitschrift für Physiotherapeuten*, 10:1428–1436, 2005.
- [59] GUTTERMANN, D. D.: *Central integration of autonomic control of the heart including the coronary circulation*. In: *Nervous Control of the Heart*, S. 253–294, Harwood Academic Publishers, Amsterdam, 1996.
- [60] HEDELIN, R., WIKLUND, U. und BJERLE, P. ET AL.: *Pre- and post-season heart rate variability in adolescent cross-country skiers*. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 10:298–303, 2000.
- [61] HEGENBARTH, F.: *Erkrankungen der Verdauungsorgane*. In: *Lehrbuch der physikalischen Medizin und Rehabilitation*, S. 415–419, G. Fischer, Stuttgart, 1995.
- [62] HEINRICHS, M. und NATZ, M.: *Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF)*. *Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie*, 31 (1):66–67, 2002.
- [63] HEMING, C., LATSCH, J. und BJARNASON-WEHRENS, B. ET AL.: *Auswirkungen einer 15-wöchigen Interventionsmaßnahme auf die Herzfrequenzvariabilität bei Patienten mit hohem kardiovaskulären Risiko*. *Techn. Ber.*, Deutsche Sportschule Köln, Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin, 2007.

- [64] HEROLD, G. und MITARBEITER: *Innere Medizin*, S. 266–267. G. Herold, Köln, 2005.
- [65] HJORTSKOV, N., RISSEN, D. und BLANGSTED, A. K. ET AL.: *The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work*. Eur J Appl Physiol, 92:84–89, 2004.
- [66] HOOS, O.: *Spektralanalyse der Herzfrequenzvariabilität im Sport - Methoden und Anwendungen, Möglichkeiten und Grenzen*. In: *Herzratenvariabilität: Methoden und Anwendungen in Sport und Medizin*, S. 28–63, Czwalina Verlag, Hamburg, 2005.
- [67] HOOS, O., BETZ, B. und STOLL O. ET AL.: *Effekte einer körperorientierten Entspannung auf HRV und Befindlichkeit*. In: *Herzratenvariabilität im Fitness- und Gesundheitssport (Schriftenreihe der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft 142)*, S. 142–152, Czwalina Verlag, Hamburg, 2004.
- [68] HORSTEN, M., ERICSON, M. und PERSKI, A. ET AL.: *Psychosocial Factors and Heart Rate Variability in Healthy Women*. Psychosomatic Medicine, 61:49–57, 1999.
- [69] HOTTENROTT, K.: *Grundlagen zur Herzratenvariabilität und Anwendungsmöglichkeiten im Sport*. In: *Herzratenvariabilität im Sport. Prävention-Rehabilitation-Training*, S. 9–26, Feldhaus Verlag, Hamburg, 2002.
- [70] HOTTENROTT, K.: *Training with the heart rate monitor*, S. 28. Meyer und Meyer Sport, 2007.
- [71] HUEBNER, M.: *Moorthherapie in der Rehabilitation – Aktueller Stand der Forschung*. Forsch Komplementärmed Klass Naturheilkd, 9:45–47, 2002.
- [72] HUIKURI, H. V., KESSLER, K. M. und TERRACALL, E. ET AL.: *Reproducibility and circadian rhythm of heart rate variability in healthy subjects*. Am J Cardiol, 65 (5):391–393, 1990.
- [73] HUIKURI, H. V., MATTI, M. D. und NIEMELÄ, J. ET AL.: *Circadian rhythm of frequency domain measures of heart rate variability in healthy subjects and patients with coronary artery disease*. Circulation, 90:121–126, 1994.
- [74] HUIKURI, H. V., PIKKUJAMSA, S. M. und AIRAKSINEN, M. J. ET AL.: *Sex-related differences in autonomic modulation of heart rate in middle-aged subjects*. Circulation, 94:122–125, 1996.
- [75] HUPPELSBERG, J. und WALTER, K.: *Vegetatives Nervensystem, VNS*. In: *Kurzlehrbuch Physiologie*, S. 277–287, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2003.

-
- [76] HUPPMANN, G. und FISCHBECK, S.: *Psychologiehistorisches zu „Stimmung“, Von der Einführung des Begriffes bis zum ersten relevanten Meßverfahren*. Verlag Dr. Johannes Königshausen und Dr. Thomas Neumann, Würzburg, 1 Aufl., 1998.
- [77] ISING, H. und KRUPPA, B.: *Zum gegenwärtigen Erkenntnisstand der Lärmwirkungsforschung: Notwendigkeit eines Paradigmenwechsels*. Umweltmed Forsch Prax, 6 (4):1–9, 2001.
- [78] JANSSEN, P. G. J. M. und WEINECK, J.: *Ausdauertraining, Trainingssteuerung über die Herzfrequenz- und Milchsäurebestimmung*, S. 50. Spitta Verlag, 2003.
- [79] JENSEN, U. J.: *Der Torf - ein Heilmittel*. Deutsche Apotheker-Zeitung, 16:521–526, 1967.
- [80] JESSEN, C.: *Thermoregulation und Wärmehaushalt*. In: *Lehrbuch der Physiologie*, S. 381–392, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2001.
- [81] KARASON, K., MØLGAARD, H. und WIKSTRAND, J. ET AL.: *Heart rate variability in obesity and the effect of weight loss*. The American Journal of Cardiology, 83 (8):1242–1247, 1999.
- [82] KARJA, J.: *Effekte einer Beta-Rezeptor-Blockade auf die funktionellen Auswirkungen der sympathischen Reinnervation am orthotop transplantierten Herzen*, S. 80. Doktorarbeit, Universität München, 2005.
- [83] KATAOKA, Y. und YOSHIDA, F.: *The change of hemodynamics and heart rate variability on bathing by the gap of water temperature*. Biomed Pharmacother., 59 (1):92–99, 2005.
- [84] KIM, J. S., LEE, W. S. und KYUNG, H. D. ET AL.: *Cardiovaskular response during thermal stress: comparison with whole-body immersion and half-body immersion*. Korean Circ J, 34 (12):1202–1209, 2004.
- [85] KIM, Y. H., AHMED, M. W. und KADISH, A. H. ET AL.: *Characterization of the factors that determine the effect of sympathetic stimulation on heart rate variability*. Pacing and Clinical Electrophysiology, 20 (8):1936–1946, 1996.
- [86] KINDERMANN, W., DICKHUTH, H. H. und NIESS, A. ET AL.: *Sportkardiologie, Körperliche Aktivität bei Herzerkrankungen*, S. 2–4. Steinkopff Verlag Darmstadt, 2003.
- [87] KLEIGER, R. E., MILLER, J. P. und BIGGER, J. T. ET AL.: *Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction*. Am J Cardiol., 59 (4):256–262, 1987.

-
- [88] KÖNIG, B. O., SCHUMACHER, Y. O. und SCHMIDT-TRUCKSÄSS, A. ET AL.: *Herzfrequenzvariabilität-Schon reif für die Praxis?*. Leistungssport, 33 (3):4–9, 2003.
- [89] KOBAYASHI, H.: *Does paced breathing improve the reproducibility of heart rate variability measurements?*. Journal of Physiological Anthropology, 28(5):225–230, 2009.
- [90] KOENIG, B. O., SCHUMACHER, Y. O. und SCHMIDT-TRUCKSAESS, A. ET AL.: *Autonome kardiovaskuläre Kontrolle und Herzfrequenzvariabilität bei Ausdauerathleten, Kraftsportlern und untrainierten Normalpersonen*. In: *Herzratenvariabilität im Sport. Prävention-Rehabilitation-Training*, S. 75–88, Feldhaus Verlag, Hamburg, 2002.
- [91] KRISTAL-BONEH, E., RAIFEL, M. und FROMM, P. ET AL.: *Heart rate variability in health and disease*. Scand J Work Environ Health, 21:85–95, 1995.
- [92] KUO, T. B. J., LIN, T. und YANG, C. C. H. ET AL.: *Effect of aging on gender differences in neural control of heart rate*. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 46:H2233–H2239, 1999.
- [93] LEHRER, P.: *Applied psychophysiology: beyond the boundaries of biofeedback (mending a wall, a brief history of our field, and applications to control of the muscles and cardiorespiratory systems)*. Appl Psychophysiol Biofeedback., 28:291–304, 2003.
- [94] LEVY, M. N. und MARTIN, P. J.: *Autonomic control of cardiac conduction and automaticity*. In: *Nervous control of the heart*, S. 201–225, Harwood Academic, Amsterdam, The Netherlands, Australia, 1996.
- [95] LOELLGEN, H.: *Herzfrequenzvariabilität*. Deutsches Ärzteblatt, 96 (31-32):A 2029–A 2032, 1999.
- [96] LOELLGEN, H., ERDMANN, E. und GITT, A. K.: *Ergometrie, Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis*, S. 10. Springer Verlag, Heidelberg, 2010.
- [97] LOHMANN, J.: *Die Therapie mit Moor*. Heilbad und Kurort, 43:161–163, 1991.
- [98] LUETTIG, G.: *Stellenwert und Akzeptanz der Heiltorf-Therapie im Gesundheitswesen*. In: *Moor Ein natürliches Heilmittel*, S. 5–50, I.S.M.H. Verlag, 2003.
- [99] MCCRATY, R., ATKINSON, M. und TILLER, W. ET AL.: *The Effects of Emotions on Short-Term Power Spektrum Analysis of Heart Rate Variability*. Am J Cardiol., 76 (14):1089–1093, 1995.
- [100] MICHALSEN, A., LOEERB, D. und MELCHART, D. ET AL.: *Veränderungen der Kurzzeit-Herzfrequenzvariabilität bei Hyperthermiebehandlung mit Infrarot-A-Ganzkörperbestrahlung*. Forschende Komplementärmedizin, 6:212–215, 1999.

- [101] MIWA, C., SUGIYAMA, Y. und MANO, T. ET AL.: *Spectral characteristics of heart rate and blood pressure variabilities during head-out water immersion*. Environ Med, 40 (1):91–94, 1996.
- [102] MUECK-WEYM, M., SIEPMANN, M. und PÖHLMANN, K. ET AL.: *Die Wirkung von Baldrian-Extrakt auf Herzfrequenzvariabilität, Schlaf und kognitive Funktion*. In: *Herzratenvariabilität im Fitness- und Gesundheitssport*, S. 153–154, Czwalina Verlag, Hamburg, 2003.
- [103] MUECK-WEYMANN, M.: *Die Variabilität der Herzschlagfolge. Ein globaler Indikator für Adaptivität in bio-psychosozialen Funktionskreisen*. Praxis Klinische Verhaltensmedizin und Rehabilitation, 60:324–330, 2002.
- [104] MUECK-WEYMANN, M.: *Herzratenvariabilitäts-Biofeedback*. Forum Stressmedizin, 1:1–7, 2007.
- [105] MUELLNER, M.: *Erfolgreich wissenschaftlich arbeiten in der Klinik - evidence based medicine*, S. 160. Springer Verlag Wien New York, 2005.
- [106] NAGASAWA, Y., KOMORI, S. und SATO, M. ET AL.: *Effects of hot bath immersion on autonomic activity and hemodynamics: comparison of the elderly patient and the healthy young*. Jpn Circ J, 65 (7):587–592, 2001.
- [107] NAUCKE, W.: *Die Untersuchung des Naturstoffes Torf auf seine Inhaltsstoffe*. Chemiker, 92:261–280, 1968.
- [108] NAUCKE, W.: *Physikalische und chemische Aspekte der Moorthherapie*. TELMA, 5:277–307, 1975.
- [109] NAUCKE, W.: *Die balneologische Wirkung von Torfen und einiger essentieller Torf-Inhaltsstoffe*. Zeitschrift für Bäder und Klimaheilkunde, 27:230–246, 1980.
- [110] NISKANEN, J. P., TARVAINEN, M. P. und RANTA-AHO, P. O. ET AL.: *Software for advanced HRV analysis*. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 76 (1):73–81, 2004.
- [111] O'BRIEN, I. A., O'HARE, P. und CORRALL, R. J.: *Heart rate variability in healthy subjects: effect of age and the derivation of normal ranges for tests of autonomic function*. British Heart Journal, 55:348–354, 1986.
- [112] PAGANI, M., LOMBARDI, F. und GUZZETTI, S. ET AL.: *Power of spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog*. Circ Res, 59:178–193, 1986.

- [113] PERINI, R., MELESI, S. und BIANCARDI, L. ET AL.: *Heart rate variability in exercising humans: effect of water immersion*. Eur J Appl Physiol, 77:326–332, 1998.
- [114] PERINI, R. und VEICSTEINAS, A.: *Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions*. Eur J Appl Physiol, 90:317–325, 2003.
- [115] POMERANZ, B., MACAULAY, R. J. und CAUDILL, M. A. ET AL.: *Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis*. Am J Physiol, 248:H151–3, 1985.
- [116] PRATZEL, H. G.: *Die Haut Ziel und Vermittlungsorgan, Begleitendes Script zum 1. Törrpiner Kolloquium*. S. 9–15, I.S.M.H. Verlag Geretsried, 2000.
- [117] PRATZEL, H. G. und LIMBACH, B.: *Die Wirksamkeit eines Schwefel-Moor-Bades bei rheumatischen Erkrankungen Ergebnisse einer randomisierten Doppelblindstudie*. Bechterew-Brief, 62:20–25, 1995.
- [118] PRATZEL, H. G. und SCHNIZER, W.: *Handbuch der Medizinischen Bäder: Indikation-Anwendung-Wirkung*, S. 112–115. Haug, Heidelberg, 1992.
- [119] QUENTIN, K.: *Die Peloide in physikalischer und chemischer Hinsicht. Archiv für physikalische Therapie, Balneologie und Klimatologie 12. Jahrgang*, S. 427–436. Thieme Verlag Leipzig, 1960.
- [120] QUENTIN, K. E.: *Die Analyse als Grundlage der balneologischen Peloidbeurteilung*. Zeitschrift für angewandte Klima- und Bäderheilkunde, 14:34–37, 1967.
- [121] ROST, J.: *Lehrbuch Testtheorie, Testkonstruktion*. Verlag Hans Huber, Bern, 1. Aufl., 1996.
- [122] RYAN, M. L., OGILVIE, M. P. und PEREIRA, B. M. ET AL.: *Heart rate variability is an independent predictor of morbidity and mortality in hemodynamically stable trauma patients*. J Trauma, 70 (6):1371–80, 2011.
- [123] RYAN, S. M., GOLDBERGER und PINCUS, S. M. ET AL.: *Gender- and age-related differences in heart rate dynamics: are women more complex than men?*. J Am Coll Cardiol, 24 (7):1700–7, 1994.
- [124] SACHS, L.: *Angewandte Statistik, Anwendung statistischer Methoden*, S. 365. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2003.

- [125] SAUL, J. P., BERGER, R. D. und CHEN, M. H. ET AL.: *Transfer function analysis of autonomic regulation II. Respiratory sinus arrhythmia*. Am J Physiol, 256:H153–H161, 1989.
- [126] SCHAPS, K. P., KESSLER, O. und FETZNER, U.: *Das Zweite-kompakt: Grundlagen-GK2*, S. 18. Springer Medizin Verlag Heidelberg, 2008.
- [127] SCHIMMACK, U.: *Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF)*. Diagnostica, 44 (3):166–171, 1998.
- [128] SCHLICHT, W. und BRAND, R.: *Körperliche Aktivität, Sport und Gesundheit - Eine interdisziplinäre Einführung*, S. 90. Beltz Juventa Weinheim, 2007.
- [129] SCHOEN, M.: *Das Erste - Kompakt. Medizinische Psychologie und Soziologie: Gk1*. Springer-Verlag, Berlin, 1 Aufl., 2006.
- [130] SCHRADER, J.: *Das Herz*. In: *Lehrbuch der Physiologie*, S. 109–144, Thieme, Stuttgart, New York, 3. Aufl., 2001.
- [131] SCHUCK, P.: *Designs und Kennziffern zur Ermittlung der Änderungssensitivität von Fragebögen in der gesundheitsbezogenen Lebensqualitätsforschung*. Zeitschrift für Medizinische Psychologie, 3:125–130, 2000.
- [132] SCHUELLER, R. und WESKOTT, H. R. A.: *Über die Wirkung von Moorbädern und Moorbadekuren auf Herzkreislauf und Nervensystem bei Herz- und Kreislaufgesunden und -kranken*. In: *Archiv für physikalische Therapie*, S. 37–47, Georg Thieme, Leipzig, 1956.
- [133] SCHWARTZ, J. B., GIBB, W. J. und TRAN, T.: *Aging Effects on Heart Rate Variation*. Journal of Gerontology, 46 (3):M99–M106, 1991.
- [134] SELLER, H.: *Neurovegetative Regulationen*. In: *Lehrbuch der Physiologie*, S. 706–707, Thieme, Stuttgart, New York, 3. Aufl., 2001.
- [135] SHANNON, D. C., CARLEY, D. W. und BENSON, H.: *Aging of modulation of heart rate*. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 253:H874–H877, 1987.
- [136] SPECHT, E.: *Der Mensch als wärmetechnisches System, Mess- und Regelungsmechanismus der Betriebstemperatur, Wärmeabgabe, Energieerhaltung, Gewichtsänderung, Behaglichkeit*, S. 10. Doktorarbeit, 2005.
- [137] SPYCHER, J.: *ADHS im Erwachsenenalter, die verborgene Störung*. Doktorarbeit, Exzellenzuniversität Konstanz, 2007.

- [138] SRAMEK, P., SIMECKOVA, M. und JANSKY, L. ET AL.: *Human physiological responses to immersion into water of different temperatures*. Eur J Appl Physiol, 81:436–442, 2000.
- [139] STEIN, P. K., ROTTMAN, J. N. und KLEIGER, R. E.: *Effect of 21 mg transdermal nicotine patches and smoking cessation on heart rate variability*. Am J Cardiol., 77 (9):701–705, 1996.
- [140] STEYER, R., SCHWENKMEZGER, P. und NOTZ, P. ET AL.: *Testtheoretische Analysen des Mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogens (MDBF)*. Diagnostica, 40 (4):320–328, 1994.
- [141] STEYER, R., SCHWENKMEZGER, P. und NOTZ, P. ET AL.: *Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF), Handanweisung*. Hogrefe, Göttingen, 1 Aufl., 1997.
- [142] STRUEMPELL, J.: *Zusammenhang zwischen Stressempfindung, Stressverarbeitung und Herzfrequenzvariabilität bei Beschäftigten in der industriellen Produktion*, S. 48–52. Doktorarbeit, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2007.
- [143] SUEFKE, S., FIEDLER, S. und DJONLAGIÇ, H. ET AL.: *Kontinuierliche Analyse der Herzfrequenzvariabilität zur Beurteilung des kardialen autonomen Nervensystems nach Alkoholintoxikation*. Medizinische Klinik, 104 (7):511–519, 2009.
- [144] TANG, C. H., CHAN, G. S. und MIDDLETON, P. M. ET AL.: *Spectral analysis of heart period and pulse transit time derived from electrocardiogram and photoplethysmogram in sepsis patients*. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, S. 1781–1784, 2009.
- [145] TSAI, Y. S., LAI, F. C. und CHEN, S. R. ET AL.: *The influence of physical activity level on heart rate variability among asthmatic adults*. J Clin Nurs, 20:111–118, 2011.
- [146] TSUJI, H., VENDITTI, F. J. und MANDERS, E. S. ET AL.: *Determinants of heart rate variability*. Journal of the American College of Cardiology, 28 (6):1539–1546, 1996.
- [147] TUECKE, M.: *Psychologie in der Schule - Psychologie für die Schule*, S. 68–69. LIT Verlag Münster, 2005.
- [148] UECKERT, S. und JOCH, W.: *Der Einfluss von Kälte auf die Herzfrequenzvariabilität*. Österreichisches Journal für Sportmedizin, 2:14–20, 2003.
- [149] UMETANI, K., SINGER, D. M. und MCCRATY, R. ET AL.: *Twenty-four hour time domain heart rate variability and heart rate: relations to age and gender over nine decades*. J Am Coll Cardiol, 31:593–601, 1998.

- [150] VAILT, D. und PETERMANN, F.: *Handbuch der Entspannungsverfahren*. Belz, Psychologie-Verl.-Union, Weinheim, 2. Aufl., 1993.
- [151] VINIK, A. I. und ZIEGLER, D.: *Diabetic Cardiovascular Autonomic Neuropathy*. Circulation, 115:387–397, 2007.
- [152] WAGNER, G., PEIL, J. M. und SCHRÖDER, U.: *Trink Dich Fit, Handbuch für das richtige Trinken*, S. 47–61. Pala Verlag Darmstadt, 2003.
- [153] YATES, B. J. und MILLER, A. D.: *Properties of sympathetic reflexes elicited by vestibular stimulation: implications for cardiovascular control*. J Neurophysiol, 71 (6):2087–2092, 1994.
- [154] ZÖFEL, P. und BUEHL, A.: *Statistik verstehen: Ein Begleitbuch zur computerunterstützten Anwendung*, S. 63. Addison-Wesley Verlag, München, 2000.
- [155] ZIEGLER, D.: *Autonome Neuropathie bei Diabetes*. Der Diabetologe, 4 (5):379–389, 2008.

B Abbildungsverzeichnis

2.1	Entwicklung der Suchergebnisanzahl in PubMed zum Stichwort "heart rate variability"	7
2.2	Veranschaulichung der Frequenzbereichsanalyse der Herzrate [110]	11
2.3	Regulation des Herz-Kreislauf-Systems, stark modifiziert nach Daly und Esperer [39, 48]	14
3.1	Ablaufplan der Datenerhebung	26
3.2	Position der Elektroden während der Datenerhebung	27
3.3	Probandin in der Wanne während der Torfbreibadphase	28
3.4	Beispiel für eine Zusammenfassung der Ergebnisse einer HRV-Analyse mit der „Software for advanced HRV analysis“ [110]	31
4.1	Altersverteilung der Probandinnen und farbliche Kennzeichnung der Gruppenbildung (20 - 30 Jahre versus 31 - 50 Jahre) für die altersabhängige Herzratenanalyse	42
4.2	Verlauf der Herzrate (bpm) 20-50-jähriger Probandinnen während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a - 2c), Nachruhephase (3a - 3c))	43
4.3	Verlauf der Herzrate (bpm) der 20-30 Jahre alten Probandinnen während der drei Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a - 2c), Nachruhephase (3a - 3c))	44
4.4	Verlauf der Herzrate 31-50 Jahre alter Probandinnen während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a - 2c), Nachruhephase (3a - 3c))	45
4.5	Verlauf der Variabilität der RR-Intervalle (RMSSD) während der Messphasen; (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a - 2c), Nachruhephase (3a - 3c))	46
4.6	Verlauf des niedrigfrequenten Anteils (LF %) der Herzrate während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a - 2c), Nachruhephase (3a - 3c))	48
4.7	Verlauf des hochfrequenten Anteils (HF %) der Herzrate während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a - 2c), Nachruhephase (3a - 3c))	48
4.8	Verlauf von LF/HF während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a - 2c), Nachruhephase (3a - 3c))	49
5.1	Vergleich des Verlaufes der HR der aktuellen Arbeit mit Studien, in denen der Einfluss von Warmwasserbädern auf die HR untersucht wurde [14, 84, 106]	62

C Fragebogen zur Erfassung der Patientendaten

Name:

Geschlecht:

Alter:

Größe:

Gewicht:

	ja	nein
Haben Sie in den letzten 1,5 Stunden gegessen oder getrunken?		
Betreiben Sie Alkohol- oder Drogenmissbrauch?		
Haben Sie sich gestern oder heute intensiv körperlich betätigt?		
Treiben sie wöchentlich mehr als zehn Stunden Sport?		
Gehen Sie regelmäßig in die Sauna?		
Sind sie schwanger?		
Haben Sie zur Zeit ihre Regelblutung?		

Liegen folgende Krankheiten bzw. Symptome bei Ihnen vor?

Herzbeschwerden bei Belastung		
Herzrhythmusstörungen		
Chronische Lungenerkrankungen		
Diabetes mellitus		
Schilddrüsenerkrankung		
Großflächige Hauterkrankung		
Ausgeprägte Entzündungszustände		
Aktueller Zustand nach Trauma		
Krampfadern (außer Besenreiser oder retikuläre Krampfadern)		
Ödeme		
Akute Tumorerkrankung		
Depression		
Fieber		
Wärmeintoleranz		

Nehmen sie Medikamente ein? Wenn ja, welche?

Datum, Unterschrift

D Tabellenverzeichnis

2-1	Parameter der Zeitbereichsanalyse	9
2-2	Parameter der Frequenzbereichsanalyse	10
3-1	Signifikanzniveaus	32
3-2	Items der Kurzform des Mainzer Stimmungsfragebogens	38
4-1	Angaben zu Alter, Größe, Gewicht und BMI der 21 Probandinnen	41
4-2	Raumtemperaturen während der drei Messphasen und Torfbreitemperatur gemessen 10 cm unter der Torfbreioberfläche in °C	41
4-3	Verlauf der Herzrate (bpm) 20-50-jähriger Probandinnen während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhephase (3a-3c))	42
4-4	Verlauf der Herzrate (bpm) 20-30-jähriger Probandinnen während der drei Mess-phasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhepha- se (3a-3c))	43
4-5	Verlauf der Herzrate (bpm) 31-50-jähriger Probandinnen während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhephase (3a-3c))	44
4-6	Verlauf der Variabilität der RR-Intervalle RMSSD (ms) während der Mes- sphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhephase (3a- 3c))	46
4-7	Verlauf des prozentualen Anteils der LF (%) am Gesamtspektrum der HR während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhephase (3a-3c))	47
4-8	Verlauf des prozentualen Anteils der HF (%) am Gesamtspektrum der HRV während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbreibadphase (2a-2c), Nachruhephase (3a-3c))	47
4-9	Verlauf von LF/HF während der Messphasen (Vorruhephase (1), Torfbrei- badphase (2a-2c), Nachruhephase (3a-3c))	49
4-10	Ausprägungen der GS-Skala-Items während der beiden Befragungen t ₁ und t ₂	50
4-11	Ausprägungen der WM-Skala-Items während der beiden Befragungen t ₁ und t ₂	51
4-12	Ausprägungen der RU-Skala-Items während der beiden Befragungen t ₁ und t ₂	51
4-13	Ausprägungen der MDBF-A-Skalen während der beiden Befragungen t ₁ und t ₂	52

4-14	Ausprägungen der ÄGS-Skala-Items während der beiden Befragungen t_1 und t_2	53
4-15	Ausprägungen der MOS-Skala-Items während der beiden Befragungen t_1 und t_2	53
4-16	Ausprägungen der GHS-Skala-Items während der beiden Befragungen t_1 und t_2	54
4-17	Ausprägungen der MStF-K-Skalen während der beiden Befragungen t_1 und t_2	54
5-1	Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Schweißbildung zur Kühlung des Körpers um 500 kcal [152]	67

E Danksagung

Danken möchte ich Frau Prof. Dr. med. K. Kraft dafür, dass sie mir das Thema zur Verfügung stellte und mich fachkundig während meiner Arbeit betreute. Herrn Dr. Hubert Janik, der für mich immer ein offenes Ohr hatte und mich bei der Lösung methodischer Probleme unterstützte, gilt mein besonderer Dank.

Frau H. Lüssow und Herr Dr. med. B. Ismer halfen mir sehr durch die Leihgabe der Langzeit-EKG-Messgeräte. Daher möchte ich ihnen ebenfalls danken.

Des Weiteren bedanke ich mich für die sehr kooperative Zusammenarbeit mit der Dr. Ebel Fachklinik „Moorbad“ Bad Doberan, wo ich meine Messungen durchführte.

Auch all meinen Probandinnen möchte ich recht herzlich danken, ohne die diese Arbeit gar nicht möglich gewesen wäre.

Meiner lieben Familie danke ich sehr für ihre Unterstützung während des gesamten Studiums und während der Tätigkeit an vorliegender Arbeit.